

SAIMAAN AMMATTIKORKEKOULU
Tekniikka Imatra
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Sähkövoimatekniikan suuntautumisvaihtoehto

Marko Huuhtanen

SÄHKÖNJAKELUN KARTOITUSTYÖKALU

Opinnäytetyö 2010

TIIVISTELMÄ

Marko Huuhtanen

Sähkönjakelun kartoitus työkalu, 69 sivua

Saimaan ammattikorkeakoulu, Imatra

Tekniikka, Sähkötekniikan koulutusohjelma

Opinnäytetyö, 2010

Ohjaajat: lehtori Seppo Jaakkola Saimaan AMK, yksikön johtaja Jari Käyhty
ABB Oy Service

Opinnäytetyön tarkoituksena on kehittää sähköverkon kartoitustyökalua. Työ on tehty ABB Oy Servicen Lappeenrannan toimipisteeseen vuosina 2009 ja 2010. ABB:n tekemä verkoston kartoitustyökalu on jäänyt keskeneräiseksi. Sitä oli hankala käyttää sellaisenaan, johtuen sekavasta ulkoasusta, joiltain osin vajavaisuudesta ja osittain useasta eri työkirjasta. Ohjelmalle on ABB:llä tarvetta ja kysyntää. Opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää työkalua niin että se sopisi mahdollisimman hyvin verkoston eri komponenttien arviointiin. Pääpaino pidettiin verkoston auditoinnissa.

Työn tavoitteena oli muokata ohjelmasta selkeä niin käyttäjille kuin asiakkaille, saada ohjelmasta toimiva verkon eri osa-alueille ja komponenteille niin laajuudeltaan kuin sovelluksiltaan, sekä kehittää ulkoasua paremmin asiakasta palvelevaksi ja helpommaksi markkinoida. Lisäksi tarkoituksena oli päivittää kerättäviä tietoja ajan tasalle ja ottaa huomioon tarkemmin kuntoon ja huoltoon vaikuttavia seikkoja, kuten ympäristön vaikutuksia. Tarkoituksena oli saada ohjelman avulla kattavampi ja tarkempi tietopaketti tarkasteltavasta kohteesta.

Tutkittavia osa-alueita ovat akustot, ohjauskeskukset, muuntajat, sähköasemat ja niihin liittyvät rakennukset, ulkotilat ja turvallisuus. Tietoja ja kehittämisideoita saatiin ohjelman käyttäjiltä ja ABB:n eri osa-alueiden osaajilta. Auditointiohjelmaa muokattiin ja kokeiltiin monia erilaisia variaatioita, jotta auditointia tehtäessä olisi käytettävissä tehokkaat työvälineet eri työvaiheissa.

Konkreettisina hyötyinä voidaan pitää ohjelman vastaamista paremmin asiakkaiden kysyntään monipuolistuneella ohjelmalla, joka antaa vertailukelpoisan tiedon laitteiston kunnosta. Lisäksi toimivuutta parantamalla supistettiin auditointiin tarvittavaa aikaa, josta seuraa kustannussäästöjä.

Asiasanat: auditointi, sähköverkon komponentit

ABSTRACT

Marko Huuhtanen

Mapping Tool for Electrical power Network, 69 pages

Saimaa University of Applied Sciences, Imatra

Technology, Degree Programme in Electrical Engineering

Electrical Power Engineering

Final Year Project, 2010

Tutor: Mr Seppo Jaakkola, MSc, Senior Lecturer, Saimaa UAS

Inspector: Mr Jari Käyhty, Unit Manager, ABB Oy Service

The purpose of this final thesis was to develop the mapping tool for electrical power network. The work was performed for the ABB Oy Service Lappeenranta office in 2009 and 2010. The network mapping tool developed by ABB was not finished. It was difficult to use as such, due to its chaotic appearance, partial incompleteness and multiple work books. ABB had a need and demand for the program. The purpose of the final thesis was to develop the tool so that it would be as suitable as possible for evaluating the different components of the network. Main focus was laid on network auditing.

The goal of the work was to make the program simple for both users and customers, make sure the program and its applications were functional in different sectors of the network and components, as well as to develop its appearance to be more useful to customers and easier to market. In addition, the goal was to update gathered information and to pay closer attention to matters affecting condition and maintenance, such as environmental effects. The purpose was to generate more extensive and more detailed information on the object of examination with the help of the program.

The studied sectors included batteries, control systems, transformers, substations and related buildings, outside areas and safety. Users of the program and ABB experts from various sectors provided information and development ideas. The audit program was modified and many different variations were experimented with in order to reach a result which would provide efficient tools for the different work stages of auditing.

One of the concrete benefits of the development is meeting the customers' needs by offering them a more versatile program, which provides more comparable information on the condition of the machinery. In addition, by improving functionality, the time required for auditing was reduced, thus resulting in cost savings.

Key words: audit, electrical power network components

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	6
1.1 LÄHTÖKOHDAT	6
1.2 TAVOITTEET JA HUOMIOON OTETUT ASIAT	7
2 SÄHKÖNJAKELU	10
3 SÄHKÖNJAKELUN KOMPONENTIT	13
3.1 SÄHKÖASEMAT	13
3.1.1 Sähköasema-automaatio	14
3.1.2 Katkaisijat	14
3.1.3 Erottimet	19
3.1.4 Verkostoautomaatio	20
3.1.5 Mittamuuntajat	22
3.2 KYTKINASEMAT JA KOJEISTOT	22
3.2.1 Kojestorakenteet	23
3.2.2 Kaasueristeiset laitteistot	31
3.3 AKUSTOT	34
3.4 UPS	35
3.5 KOMPENSOINTILAITTEET	38
3.6 KESKUKSET	40
3.7 RAKENNUKSET	40
3.8 MUUNTAJAT	41
4 SÄHKÖTURVALLISUUSLAKI	45
5 SÄHKÖNJAKELUN LUOTETTAVUUS	47
6 KUNNOSSAPITOSTRATEGIAT	48
6.1 RCM LUOTETTAVUUSKESKEINEN KUNNOSSAPITO	49
6.2 TPM (TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE)	51
6.3 LCC (LIFE CYCLE COSTS)	54
7 KARTOITUSTYÖKALU	56
7.1 ELINKAARISTATUS	59

7.2 OLOSUHDEINDEKSI.....	60
7.3 YHTEENVETO.....	61
8 KARTOITUSTYÖKALUN KEHITTÄMINEN.....	62
9 ABB YRITYKSENÄ.....	64
10 YHTEENVETO.....	66
KUVAT.....	67
LÄHTEET.....	68

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö on tehty ABB Oy Servicelle Lappeenrantaan. Työn kohde on ABB Oy Servicen käyttämä auditointiohjelma, jota käytetään tehtäessä sähkönjakelun kartoitusta. Auditointi tehdään, kun halutaan selvittää sähköverkon tai jonkin sen osa-alueen kunto, käyttövarmuus, kriittisyys tai elinikä. ABB Oy Servicen palveluihin kuuluu toimittaa ja kehittää teknisiä ratkaisuja niin että asiakkaiden tuotantotehokkuus paranee.

1.1 Lähtökohdat

ABB:llä oli tarve uudistaa jo käytössä olevaa vanhaa ohjelmaa, joka oli hidas ja hankala käyttää. Työ piti tehdä aluksi auditoitavassa kohteessa käsin paperille kirjoittamalla jonka jälkeen tiedot siirrettiin tietokoneelle Windows Exel ohjelmaan. Myös tietojen häviämisessä ja auditoinnin vertailukelpoisuudessa eri kohteissa ja eri asentajien tekeminä oli parannettavaa.

Tarkoituksena oli tehdä ohjelma joka olisi helppo ja mahdollisimman yksinkertainen käyttää jo suoraan kohteessa. Ratkaisuksi tahdottiin minikannettava tietokone, johon auditointi tehtäisiin suoraan työkohteessa. Ohjelmaa valittaessa jouduttiin luopumaan ajatuksesta käyttää internetpohjaista ohjelmaa, jota ohjelmoinin asiantuntijat aluksi suosittelivat, koska auditointia tehdään yleensä paikoissa, joissa ei ole internetyhteyttä. Alustaksi valittiin Microsoft Exel taulukkolaskenta -ohjelma ja Visual Basic, jolla saataisiin toteutettua tarvittavat ohjelmalliset toiminnot. Exel kävi alustaksi hyvin, sillä siihen saatiin siirrettyä helposti joitain osia vanhasta ohjelmasta, lisäksi ohjelma oli entuudestaan tuttu useimmille ohjelman tuleville käyttäjille.

1.2 Tavoitteet ja huomioon otetut asiat

Tavoitteita ja auditointiohjelmaa suunniteltaessa ja sitä tehtäessä huomioidut asiat sekä toivomukset että esiin tulleet käytännön asiat olivat:

- yksinkertaisuus käyttää
- tulosten vertailukelpoisuus
- monipuolinen laskenta
- soveltuvuus useisiin kohteisiin
- pitkä käyttöikä
- kaupallisuus

Yksinkertaisuus käyttää oli avainasemassa, jotta uusi ohjelma hyväksyttäisiin käyttöön ja vanhoista toimintatavoista siirryttäisiin uuteen. Jotta ohjelma olisi helppo käyttää, siinä tulisi olla mahdollisimman vähän käytettäviä näppäimiä ja vaihtoehtoja, mutta kuitenkin kaikki tarpeellinen tulisi ottaa huomioon ja mahdolliset vaihtoehdot olisi löydettävä. Tarkasteltavat kohdat saivat arvot yhdestä kolmeen, jolloin 1=OK, 2= Puute, 3=Vika. Jokaiselle kohdalle on ennalta määrätty kertoimet, jotka vaikuttavat keskiarvoon kohteen kriittisyyden mukaan. Näin tarkastettavia kohtia on helppo käydä listasta läpi antaen arvon 1,2 tai 3. Kohteen muut tiedot joita ei tiedetä esimerkiksi nimet, kirjoitetaan vapaisiin tekstikenttiin ja kohdat joissa tiedetään olevan enemmän vaihtoehtoja käytetään alasvetovalikkoja.

Tulokset eri kohteiden ja laitteiden välillä täytyi saada vertailukelpoisiksi. Tätä hankaloittaa ohjelman eri käyttäjät, jotka yksilöllisellä tulkinnallaan aiheuttavat eroja, sekä erilaiset käyttöympäristöt, jotka vaikuttavat vikojen/puutteiden kriittisyyteen eri kohteissa eri tavoilla. Lähtökohdaksi oli valittu jo aikaisemmin keskiarvolaskenta, joka antaa arvon nollan ja yhden (0-1) välillä, 1=OK ei vikoja tai puutteita. Keskiarvo muodostuu useista osakeskiarvoista jotka lasketaan annetuista kertoimista (Kuva 1). Jokaista osakeskiarvoa voi painottaa arvoilla 1- 5, joka painottaa kyseistä keskiarvoa kokonaiskeskiarvosta. Kokonaiskeskiarvoa puolestaan pystyy painottamaan olosuhdeindeksillä, joka mahdollisesti heikentää saatua arvoa, jos olosuhteet ovat kuluttavia tai lisäävät vikaherkkyttä

(Kuva 2). Tällainen laskenta mahdollistaa myös kohteiden monipuolisuuden ja ohjelman soveltuvuuden lähes kaikkiin kohteisiin. Lisäksi laajennus mahdollisuudet onnistuvat laskennan kannalta helposti, koska laskentaperiaate käy kaikkiin laitteisiin ja ympäristöihin.

Käyttövaatimukset - SFS-EN 50272-2				Kl		0,57		11	
Valmistaja	Tekstikenttä	?							
Tyyppi	Tekstikenttä	?							
Kennolukumäärä	Tekstikenttä	?							
Jännite ja kapasiteetti	Tekstikenttä	?							
Käyttöönottovuosi (päivä)	Tekstikenttä	?							
Painoarvo	(1-5)	1							
Eiinkaaristatus	(1-4)	Valmistus							
Asennus	Akusto (V)	?							
Tunniste- ja varoitusmerkit (tunnus tärkeä jos useampi akusto)	Ok	1							
Poiskytkentä ja erotus (oltava kytkin tai muu erottava laite)	Ok	1							
Oikosulkusuojaus (sulakkeet)	Ok	1							
Akustoteline/kaappi (allastus, syöpymät, ryhmäakkujen etäisyys)	Puute/Epäs.	2							
Kosketusjännitesuojaus	Puute/Epäs.	2							
Räjähdyssuojat/venttiilit	Puute/Epäs.	2							
Yliäpito									
Pinnankorkeus (jos avoin akusto) /elektrolyttivuodot	Vika	3							
Käyttö-, asennus ja huolto-ohjeet (akkun lähistöllä)	Vika	3							
Tarkastukset, mittaukset ja valvonta järjestetty. Elinkaari	Vika	3							
Huolto- ja suojavälineet (ainakin silmähuuht., silmäsuojat ja keuhkusuojat)	-	0							
Akuston yleiskunto (puhtaus, liitännät, vuodot)	-	0							
Huonetila									
Ilmanvaihto (luonnoll./koneell. merkitse)	Ok	1							
Jos koneellinen - tuuletinvaurion hälytys	Ok	1							

Kuva 1 Keskiarvon laskenta.

TOIMII KERTOIMENA KESKIARVON OLOSUHDEPAINOTUKSESSA

?

Apuvälikko

Järjestelmän Kl

Järjestelmän Kl (Olosuhdepainotus)

REF!

REF!

VOI KORJATA OLOSUHDEINDEKSIÄ PROSENTUAALISESTI JOSAIN KOHTEISSA JOS TARVETTA

Olosuhdeindeksi

0,76

Karjasa

0

Täytä Tekstikentät (1-5)

1 = Ei vaikutusta

5 = Suuri vaikutus

RIVIN KESKIARVO

Altisteiden Kl

Painotus

Sijainti

1

1

Altiste

Määrä

Ilman laatu:

Pälyinen / jatkava

1,00

1

Häiriö

1

Puupäly

1

Paperipäly

1

Metallipäly

1

Syövyttävä

1

Öljy

1

Likaantuminen

Vaimo / karjasa

0,50

3

Häiriö

2

Puupäly

3

Paperipäly

1

Metallipäly

1

Syövyttävä

1

Öljy

1

Lämpötila:

Vaihtelu

1,00

1

10-20 C

1

24h arvioitu keskiarvo

Kosteus:

0,50

2

15-75%

3

24h arvioitu keskiarvo lämpötilan muk.

Tärinä:

0,50

1

Vaihtuu

3

Arvioitu vaikutus laitteistoon

VALITAAN TIEDOKSI MINKÄ TYYLISÄ HAITTAARVIOIDAAN

PAINOTTA AINA SAMALLA RIVILLA OLEVAA HAITTAARVIOIDAAN

NÄISSÄ KOLMESSA VALITAAN MILLE VÄLILLE VAIKUTUS OSUU NUMEROILLA 1-5

1 = EI HAITTAARVIOIDAAN

5 = MERKITTÄVÄ / RASITTAVA TEKIJÄ

LASKEE NÄIHIN SOLUIHIN RIVEILTÄ (ILMAN LAATU JA LIKAANTUMINEN) KAKSI MERKITTÄVINTÄ JA NIISTÄ KESKIARVON

ALTISTEEN VAIKUTUKSEN VAKAVUUS/MÄÄRÄ

Kuva 2 Olosuhdeindeksin vaikutus keskiarvoon.

Ohjelmasta yritettiin saada monipuolinen jotta sitä voitaisiin tarjota useille eri yrityksille riippumatta siitä, onko asiakas suuri tuotantotehdas tai kiinteistönomistaja, jolla ei välttämättä ole suurjännitelaitteita. Ohjelma jaettiin kolmeen kokonaisuuteen: Suurjännite, Keski-jännite ja Muut. Näin saatiin aluejako, josta voidaan tarjota yhtä kokonaisuutta. Soveltuvuutta erilaisiin kohteisiin parantaa olosuhdeindeksi ja monipuolisuus tarkasteltavissa kohteissa.

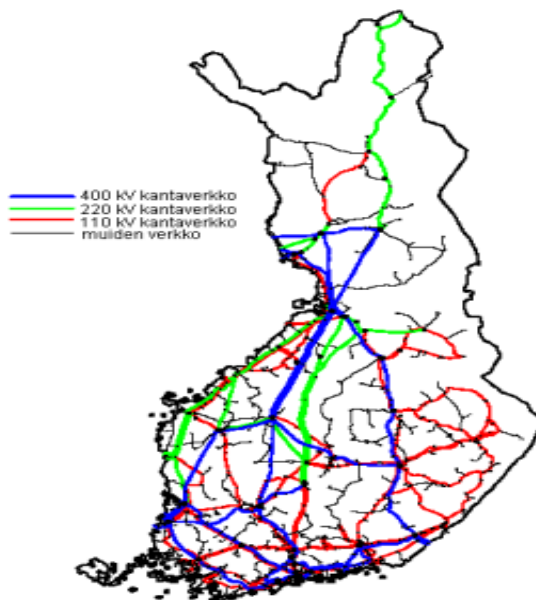
Käyttöikää voidaan kohentaa keskittymällä perusasioihin joita voidaan pitää muuttumattomina, näin ohjelma ei huonone ajan kuluessa. Ongelmana on kuitenkin joissain kohdissa käytettävät standardit ja lakisääteiset normit, jotka voivat muuttua. Tämä aiheuttaakin ongelman, koska ohjelmaa olisi todennäköisesti päivitettävä aika ajoin, jotta auditointia ei tehtäisi vanhentunein säädöksin. Käyttäjien täytyy olla valmentuneita muuttuvista säädöksistä siitä, missä niitä käytetään.

Tarkoituksena ohjelman käyttöön on saada syntymään huoltosopimuksia ja näin ollen kaupallisuutta on ajateltava. Ohjelmaa on tarkoitus pitää kuitenkin lähtökohtaisesti työkaluna, joten jo muutenkin tehdyt muutokset auttavat, kuten parantunut selkeys ja yhdenmukaisuus kaikkien ohjelman työkirjojen välillä. Myös ohjelman värimaailma tehtiin mahdollisimman selkeäksi, joka voi näyttää kirjalta sillä eri väreillä haluttiin indikoida mahdolliset viat ja puutteet, jotta ne olisi helpompi huomata. ABB:n standardeista puolestaan löytyi valmiit värit elinkaari-
statuksiin.

2 SÄHKÖNJAKELU

Opinnäytetyötä tehtäessä päätettiin auditoinnissa tehdä jako kolmeen osaan: suurjännite, keskijännite ja muut osio, joka pitää sisällään pienjännitekeskukset, kompensoinnin ja UPS:n. Termit ovat yleisesti käytössä sähkötekniikassa, joten ohjelman alueet oli luonteva ja helppo rajata. Näin auditointi kestää selkeämpänä ja helposti jaettavana kokonaisuuksiin. Sähkönjakelu voidaan jakaa kolmen tyyppiseen verkkoon: kantaverkkoon, alueverkkoon ja jakeluverkkoon. Verkkojen erot perustuvat verkkojen jännitetasoon. Jako voidaan tehdä myös suurjännitteen, keskijännitteen (välijännitteen) ja pienjännitteen kesken.

Kantaverkkoa (Kuva 3) käytetään pitkillä siirtoyhteyksillä ja suurilla siirtotehoilla. Verkon voimajohtojen pituus on yhteensä noin 14 000 kilometriä. Siirtohäviöiden pienentämiseksi kantaverkon jännite on korkea, alimmillaan 110 kilovoltia ja enimmillään 400 kilovoltia.



Kuva 3 Kantaverkko Suomessa.

Kantaverkoista jatkuvat alueverkot, jotka siirtävät sähköä alueellisesti esimerkiksi tietyssä läänissä. Jakeluverkot voivat käyttää kantaverkkoa alueverkon kautta tai liittyä suoraan kantaverkkoon. Ero alue- ja jakeluverkon välillä perustuu jännitetasoon. Alueverkot toimivat 110 kilovoltin, jakeluverkot 20, 10, 1 tai 0,4 kilovoltin jännitteellä. Toinen sähköverkon jako perustuu jännitetasoon: pienimpiä, alle 1 kilovoltin jännitteitä kutsutaan pienjännitteeksi, korkeampia jännitteitä taas keskijännitteeksi (1-70 kilovoltia) tai suurjännitteeksi (110 - 400 kilovoltia).

Suurjänniteverkkojen laajuus on yhteensä noin 22 000 kilometriä, keskijänniteverkkojen 136 000 kilometriä ja pienjänniteverkkojen 222 000 kilometriä. Suurjänniteverkot eli kanta- ja alueverkot sijaitsevat ulkoilmassa, mutta keskijänniteverkosta kymmenesosa ja pienjänniteverkoista kolmasosa on kaivettu maan alle, pääosin kaupunkien keskustoista. Vuoden 1970 ja 2005 välillä maahan kaivettujen kaapeleiden osuus pienjänniteverkoissa melkein viisinkertaistui.

Kodit saavat sähkönsä jakeluverkoista, teollisuus, kauppa, palvelut ja maatalous taas tapauksesta riippuen joko jakelu-, alue- tai kantaverkosta. Myös sähköä tuottavat voimalaitokset voivat liittyä kuhunkin kolmesta verkostosta.

Tämän lisäksi sähköverkkoon on liittynyt generaattoreita, sähköasemia ja jakelumuuntamoita. Generaattori tuottaa energiaa sähköverkkoon. Sähköasemat ovat sellaisia verkon solmupisteitä, joissa erijännitteiset voimajohdot yhtyvät. Asemilla voidaan muuntaa, jakaa ja keskittää sähköä siirtoa. Jakelumuuntamot muuntavat sähköä korkeat siirtojännitteet sähköä käyttäjille soveltuvaksi pienjännitteeksi. Valtaosa jakelumuuntamoista on sijoitettu pylväisiin, mutta lisäksi muuntamoita voi nähdä puistojen muuntamorakennuksissa ja kerrostalojen kellarissa. (Energiateollisuus ry)

Sähköverkon jako (verkon mukaan)

- Kantaverkko 400 -110 kV (pitkät siirtoyhteydet ja suuret tehot)
- Alueverkko 110 kV (liittyy kantaverkkoon, alueellinen jako esim. läänit)
- jakeluverkko 20, 10, 1 tai 0,4 kV (liittyy alueverkkoon tai suoraan kanta-verkkoon)

Sähköverkon jako (jännitteen mukaan)

- Suurjännite 400 -110 kV (teollisuuden sähköverkko, laajuus 22 000 km)
- Keskijännite 70-1 kV (teollisuuden, kaupan ja maatalouden sähköverkko, laajuus 136 000 km)
- Pienjännite >1 kV (asuinrakennusten sähköverkko, laajuus 222 000 km)
(Energiateollisuus ry)

3 SÄHKÖNJAKELUN KOMPONENTIT

Jotta sähkö saadaan voimalaitoksilta käyttöön tehtaisiin tai kotitalouksiin, sitä joudutaan siirtämään pitkiä matkoja, muuttamaan taajuutta ja jännitetasoa sekä joissain tapauksissa sähkö muutetaan myynnin tai oston yhteydessä vaihtosähköstä tasasähköksi ja edelleen vaihtosähköksi. Jotta näitä kaikkia toimintoja pystytään toteuttamaan ja sähköverkko voidaan, hallita on verkossa oltava pelkkien kaapeleiden lisäksi muuntajia, sähköasemia, kytkinlaitoksia ja komponentteja niiden sisällä.

3.1 Sähköasemat

Sähköasemalla tarkoitetaan sellaista sähköenergian siirto- tai jakeluverkon koh-
taa, jossa voidaan suorittaa kytkentöjä, jännitteen muuntamista tai sähköener-
gian siirron kehittämistä tai jatkoa eri johdoille. Muuntajien ja kiskostojen lisäksi
sähköasemilla on runsaasti erilaisia kojeita ja laitteita, jotka voidaan hankkia
myös tehdasvalmisteisina valmiina kojeistoina. Tärkeimmät laitteet ovat katkai-
sijat, erottimet ja mittamuuntajat. Näiden lisäksi käytetään suojaustarkoituksissa
releitä ja varokkeita sekä ylijännitesuojauksessa venttiilisuoja tai kipinälevyjä.

Kojeille asetettavien vaatimusten takana ovat Suomessa sähkölaki ja sähkötur-
vallisuusmääräykset. Vaatimukset ilmoitetaan yleensä erilaisissa standardeissa
ja ne pohjautuvat käytössä esiintyviin erilaisiin rasituksiin. Standardit määräävät
myös, miten todetaan kojeen täyttävän niille asetetut vaatimukset (koestus).

Nimellis- ja koestusarvot muodostavat kojeen tärkeimmät tekniset tiedot. Nimel-
lisarvot määritellään tavallisesti kojeiden jatkuvan normaalin käyttötilanteen mu-
kaisina. Koestusarvoilla pyritään takaamaan kojeen moitteeton toiminta sekä
normaalissa käyttötilanteessa että poikkeuksellisissa tilanteissa. (Elovaara ja
Laiho 2007.)

3.1.1 Sähköasema-automaatio

Sähköasema-automaatioon on perinteisesti kuulunut sähköaseman kaukokäyttö sekä erilaisia paikallisohjauksia ja paikallista kunnonvalvontaa. Relesuojaus, johtolähtöjen jälleenkytkentä -automaatiikka ja muuntajan jännitteensäätö ovat käytössä lähes kaikilla sähköasemilla.

Sähköasemien muuntajien, katkaisijoiden, erottimien, releiden, mittamuuntajien ja apusähköjärjestelmien ohjaukseen ja valvontaan on olemassa erilaisia ja eritasoisia automaatiotratkaisuja. Nämä automaatiotoiminnot on aiemmin toteutettu usein keskitetysti erillisillä, itsenäisesti toimivilla laitteilla. Paikallinen automaatiojärjestelmä on saattanut olla yhdistettynä kaukokäyttöön, jolloin automaatiojärjestelmän antamat hälytykset on voitu välittää valvomoon. Nykyaikaisissa mikroprosessoripohjaisissa sovelluksissa paikallisautomaatiojärjestelmä toimii kiinteässä yhteistyössä käytönvalvontajärjestelmän kanssa tai on kokonaan integroitunut siihen. Toinen kehitystrendi on ollut pyrkimys siirtyä keskitetystä järjestelmästä hajautettuun. (Lehtonen, Kärkkäinen & Partanen 1995.)

3.1.2 Katkaisijat

Katkaisijat ovat kojeita, joita käytetään virtapiirin avaamiseen ja sulkemiseen. Ne voivat toimia sekä käsiohjauksesta että automaattisesti. Tavallisin automaattinen katkaisijatoiminta on avautuminen ylivirran (esim. oikosulku- tai maasulkuvirta) vaikutuksesta. Avautumiskäskyn antaa katkaisijalle tällöin virtapiiriin kytketty rele. Myös sulkeutuminen voi tapahtua automaattisesti erityisen jälleenkytkentäreleistyksen käynnistämänä. Katkaisijalle on tyypillistä, että se kykenee vauriottumatta sekä avaamaan että sulkemaan oikosulkupiirin, ts. piirin, jossa virta on moninkertainen katkaisijan nimellisvirtaan verrattuna. Tätä ominaisuutta ei ole kytkimellä, joka pystyy katkaisemaan vain nimellisvirtansa. Kytkimet eivät myöskään yleensä avaudu automaattisesti esim. ylivirran vaikutuksesta. Kytkimiä ei tässä tapauksessa käsitellä lähemmin. Riittää kun todetaan, että niiden pääasiallinen käyttöalue on pienjännitteellä ja 500 V:lla ja että niiden valinta tapahtuu nimellisjännitteen ja -virran pohjalta. (Elovaara & Laiho 2007.)

Katkaisijakammiossa käytettävän väliaineen mukaan katkaisijat voidaan jakaa mm. seuraaviin ryhmiin:

- ilmakatkaisijat
- öljykatkaisijat
- vähäöljykatkaisijat
- paineilmakatkaisijat
- SF₆- tai yleisemmin kaasukatkaisijat
- tyhjiökatkaisijat

Järjestys kuvaa myös katkaisijoiden kehitysvaiheita, joka on sidoksissa verkkojen kehitykseen ja siirtojännitteiden, kuormitus- sekä vikavirtojen kasvuun. Kaikkia luettelossa mainittuja katkaisijatyyppejä tavataan vielä verkoista. (Elovaara & Laiho 2007.)

Relesuojaus

Sähköverkossa tapahtuvien vikojen varalta voimalaitokset sekä sähkö- ja kyt-
kinasemat varustetaan katkaisijoilla, jotta viottunut verkon osa saadaan erotet-
tua muusta verkosta. Näiden katkaisijoiden ohjaamiseen käytetään suojareleitä.
Releet tarkkailevat sähköverkon tilaa ja verkon vikaantuessa ne antavat, niihin
aseteltujen asetteluarvojen ylittyttyä, laukaisusignaalin katkaisijalle tai hälytyk-
sen. Relesuojausta käytetään keskijänniteverkossa ja sitä suuremmilla jännite-
tasoilla. Pienjänniteverkkojen suojauksessa käytetään varokkeita ja varokeau-
tomaatteja.

Relesuojaukselle asetetaan seuraavat vaatimukset:

- Toiminnan on oltava selektiivistä, jotta vian sattuessa mahdollisimman pieni osa verkosta jää pois käytöstä.
- Toiminnan on tapahduttava riittävän nopeasti ja herkästi niin, että vaarat, vauriot, häiriöt ja haitat jäävät kohtuullisiksi sekä verkon stabiilisuus säilyy kaikissa olosuhteissa.
- Suojauksen tulee kattaa aukottomasti koko suojattava järjestelmä.
- On oltava käyttövarma ja mahdollisimman yksinkertainen.
- Käytettävyyden tulee olla hyvä.
- Suojaus on voitava koestaa käyttöpaikalla.
- Suojauksen on oltava hankintakustannuksiltaan kohtuullinen.

Vanhemmat suojareleet ovat rakenteeltaan sähkömekaanisia. Nimitys tulee siitä, että ne sisältävät liikkuvia osia. Ne toimivat samalla periaatteella kuin osoittavat mittarit eli ne mittaavat sähkösuureen tehollis- tai keskiarvoa. Releet liitetään yleensä suojattavaan virtapiiriin mittamuuntajan välityksellä, jolloin puhutaan toisioreleistä. Sähkömekaanisten releiden heikkoutena on niiden hitaus ja epätarkkuus. Sähkömekaanisia releitä ei valmisteta enää, mutta ne ovat pitkäikäisiä ja niitä on edelleen käytössä.

Staattiset eli elektroniset suojareleet tulivat markkinoille 1960-luvun loppupuolella. Releissä on käytetty yksittäisiä puolijohdekomponentteja sekä mikropiirejä sisältäviä kytkentöjä. Staattiset releet mahdollistavat sähkömekaanisia releitä vaativampia suojaustoimintoja. Releet ovat huomattavasti tarkempia ja nopeampia, kun mekaaniset osat on korvattu elektronisilla. Staattisten releiden haittapuolia ovat herkkyyys ylijännitteille ja sähkömagneettisille häiriöille, jatkuva aputehon tarve sekä toiminnan epähavainnollisuus.

Mikroprosessoritekniikan yleistymisen ja kehittymisen myötä digitaalista signaalinkäsittelyä on alettu hyödyntää myös suojausreleiden toteutuksessa. Ensimmäiset mikroprosessorireleet tulivat markkinoille 1980-luvun alkupuolella. Varsinaisten suojaustoimintojen lisäksi mikroprosessorireleet mahdollistavat erilaiset mittausta- ja ohjaustoiminnot. Sarjamuotoinen tiedonsiirtoväylä mahdollistaa mm. releen mittaamien signaalien ja releeseen aseteltujen toiminta-arvojen siirtämisen suoraan releeltä ylemmän tason automaatiojärjestelmään. Toiseen suuntaan voidaan siirtää esim. releen asetteluarvojen muutokset ja katkaisijan kiinnitai aukiohjauskäskyt. Uusimman sukupolven mikroprosessorireleissä tarvittavat toiminnot on integroitu yhdeksi kokonaisuudeksi, josta voidaan helposti ohjelmoida käyttäjän haluama paketti.

Releet voidaan jakaa mitattavan suureen perusteella seitsemään ryhmään. Niitä ovat: ylivirtareleet, ali- ja ylijännitereleet, taajuusreleet, suunta- ja tehoreleet, epäsymmetriareleet, vertoreleet sekä distanssireleet. Ylivirtareleitä käytetään ylikuormitus- ja oikosulkusuojina. Säteittäisten verkkojen oikosulkusuojaus toteutetaan yleensä ylivirtareleillä. Ne voivat olla hetkellisiä ylivirtareleitä, vakioaikaylivirtareleitä tai käänteisaikaylivirtareleitä. Muuntajien, generaattoreiden ja moottoreiden ylikuormitussuojana käytetään mm. lämpörelettä.

Alijännitereleitä käytetään suurten moottoreiden erottamiseen verkosta, kun niitä uhkaa pysähtyminen alijännitteen vuoksi. Ylijännitereleitä käytetään maasulkusuojauksessa sekä tahtigeneraattoreissa vaarallisen jännitteen nousun varalta.

Taajuusreleitä käytetään omaa sähköntuotantoa omaavien sähköyhtiöiden kytkentäjärjestelmissä. Ne toimivat verkon taajuuden noustessa tai pienentyessä nimellisarvosta.

Suunta- ja tehoreleillä mitataan jännitteen tai virran hetkellisarvoja tai niistä johdettuja tehoja. Suuntareleen tehtävänä on tehon virtaussuunnan ilmaiseminen. Silmukoitujen verkkojen ylivirta- ja oikosulkusuojauksessa käytetään suunnattua ylivirtarelettä. Generaattorin ja sitä pyörittävän voimakoneen suojana käytetään

takatehorelettä. Sillä estetään generaattorin toimiminen moottorina. Keskijänniteverkon maasulkusuojaus on Suomessa toteutettu pääasiassa maasulun suuntareleillä. Epäsymmetriareleitä käytetään suojaamaan suuria koneita vaarallisilta virta- ja jännite-epäsymmetrioilta.

Vertoreleet vertaavat verkon eri osissa kulkevia virtoja tai tehoja. Niillä voidaan suojata muuntajia, generaattoreita, johtoja ja kiskostoja. Vertailukohteena voivat olla esim. itseisarvot, vaihekulmat tai mitattavien virtojen suunnat. Tunnetuin vertorele on differentiaalirele. Sen toiminta perustuu mitattujen virtojen vertailuun.

Distanssireleet mittaavat sijoituspaikkansa ja vikapaikan välistä impedanssia sijoituspaikassa esiintyvien virtojen ja jännitteiden avulla. Distanssirele pystyy impedanssimittauksen perusteella määrittämään etäisyyden vikapaikkaan. Rele toimii, kun mitattava impedanssi alittaa asetteluarvon. Releen mittaama impedanssi on sitä pienempi, mitä lähempänä vikapaikka on. Suomessa distanssireleitä käytetään siirtoverkon oiko- ja maasulkusuojina.

Suurin osa avojohtoverkkojen vioista on esim. salaman iskun aiheuttamia ohimeneviä valokaarivikoja, jotka poistuvat, kun johto tehdään hetkeksi jännitteettömäksi. Tällaisista vioista kuluttajille aiheutuvien kohtuuttomien pitkien keskeytysaikojen välttämiseksi suojareleet varustetaan jälleenkytkentäautomaatiikalla. Rele ohjaa katkaisijan auki vian tultua. Releeseen asetellun jännitteettömän väliajan (n. 0,2 - 0,5 s) jälkeen rele ohjaa katkaisijan kiinni. Tätä kutsutaan pikajälleenkytkennäksi (PJK). Kotitalouskuluttaja tunnistaa PJK:n valojen välähtämisestä tai varmentamattomien ajastimien toimintahäiriöistä. Jos vikaa ei saada poistettua PJK:lla, rele ohjaa katkaisijan jälleen auki. Tällä kertaa hieman pidemmän (n. 0,5 - 3 min.) ajan kuluttua rele ohjaa katkaisijan taas kiinni. Tätä kutsutaan aikajälleenkytkennäksi (AJK). Jos vika ei korjaannu AJK:n avulla, suoritetaan lopullinen laukaisu eli katkaisija jää auki, kunnes vika on saatu korjattua. (Lehtonen ym. 1995.)

3.1.3 Erottimet

Erottimien käyttötilanteet on määritelty sähköturvallisuusmääräysten pykälässä 15, 23, ja 50, joiden perusteella erottimen tehtävä on:

- muodostaa turvallinen avausväli erotettavan virtapiirin ja muun laitoksen välille
- saada laitoksen osa jännitteettömäksi turvallista työskentelyä varten

Näiden tehtävien perusteella erottimen avausvälin on oltava erittäin luotettava. Tämä edellyttää ensiksi sitä, että erottimen avausvälin on oltava näkyvä tai erotin on varustettava luotettavalla mekaanisella asennonosoittimella. Toiseksi erottimen avausvälin jännitelujuuden on oltava suurempi kuin ympäröivän eristyksen, esim. vaiheen ja maanvälisen eristyksen.

Edellä luetellut turvallisuusnäkökohdat muodostavat erottimien ensisijaiset tehtävät. Kuormitetun virtapiirin avaaminen tai sulkemiseen niitä ei ole tarkoitettu, mistä syystä erottimilta ei vaaditakaan virran katkaisu- eikä sulkemiskykyä. Käytännössä erottimella voidaan kuitenkin erottaa lyhyt kiskosto tai johto, katkaista muuntajan tyhjäkäymisvirta. Niiden sulkemiskyky on nopeasti ohjattuna muuttaman ampeerin suuruusluokkaa. Turvallisuussyistä vaaditaan, että erotin on voitava lukita sekä auki- että kiinniasentoihin siten, että erottimen vaaraa aiheuttava käyttö on estetty (esim. virallisen erottimen aukiohjaus). Luonnollisesti erottimelta on vaadittava, että se kykenee kiinni-asennossa moitteetta johtamaan kuormitus- ja oikosulkuvirrat.

Erottimien käyttötavat

Edellä esitetyt turvallisuusvaatimukset ovat määränneet erottimien normaalit käyttötavat. Jos energian virtaussuunnalle on olemassa vain yksi vaihtoehto, riittää, että erotin sijoitetaan katkaisijan ja syöttävän kiskon väliin. Mikäli energian syöttö on mahdollinen molemmista suunnista, on erottimia käytettävä katkaisijan molemmilla puolilla.

Erottimet on sijoitettava kohtiin, jossa laitos on voitava jakaa osiin tai niitä on käytettävä sarjassa sellaisten laitteiden kanssa, jotka on kytkettävä jännitteettömäksi huoltoa tms. varten. Näiden käyttötapojen lisäksi erottimia käytetään:

- keskeytymättömän käytön mahdollistavina ohituserottimina,
- maadoituserottimina estämään vikavirtojen ja indosoituneiden jännitteiden vaaravaikutuksia verkossa työskennellessä.

(Elovaara & Laiho 2007.)

Erottimien ohjaus

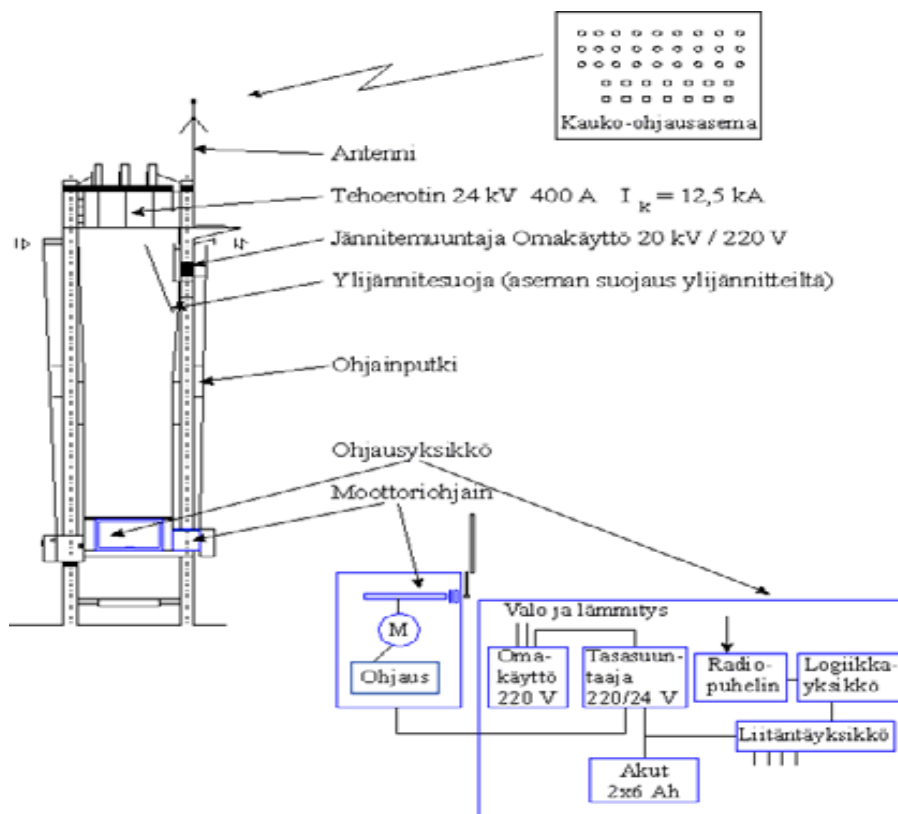
Erottimen auki- ja kiinniohjaus tapahtuu käsi-, moottori- tai paineilmaohjattuna. Moottori- ja paineilmaohjattuja erottimia voidaan kauko-ohjata kytkinaseman valvomosta tai erityisellä kauko-ohjauslaitteistolla pitkienkin matkojen päästä. Suomen ilmasto-olosuhteissa on ulosasennettavissa erottimissa kiinnitettävä erityistä huomiota mekaaniseen kestävyYTEEN. Erottimen on toimittava myös kovalla pakkasella ja jäätävissä olosuhteissa. (Jaatinen 1991, 142.)

3.1.4 Verkostoautomaatio

Erötinasemien kaukokäyttö on tunnetuin verkostoautomaatiotoiminto. Verkon vikaannuttua vikaantunut verkon osa saadaan erotettua muusta verkosta avaamalla jokin vikakohdan ja sähköaseman välinen erotin. Kun vika on korjattu, erotin on käytävä sulkemassa. Etenkin maaseudulla erottimen luokse siirtymiseen saattaa kulua pitkäkin aika. Erottimen kauko-ohjauksella erotin saadaan avattua tai suljettua nopeasti, jolloin sähkökatkon kesto aika lyhenee ja katkosta aiheutuva haitta pienenee. Kauko-ohjatut erotinasemat pyritään sijoittamaan sellaisiin paikkoihin, joissa keskeytyskustannuksia saadaan eniten pienennettyä. Tällaisia paikkoja ovat yleensä verkon risteyskohdat, jotka sijaitsevat kaukana valvomosta tai jonne on muuten hankalat kulkuyhteydet tai joiden läheisyydessä on merkittävää kuormitusta. Risteyskohdassa samalla asemalla voi olla 2 - 4 erotinta.

Eroinaseman keskeiset osat ovat moottoriohjain, ohjausyksikkö, jännitemuuntaja tehonsyöttöä varten, ylijännitesuoja sekä radioantenni. Kytkeinlaitteena voidaan käyttää tavallista erotinta tai kuormanerotinta. Kuormanerotin kykenee katkaisemaan tietyn kuormitusvirran ja kytkemään maksimissaan 12,5 kA:n oikosulkuvirran. Kauko-ohjattavan erotinaseman rakenne on esitetty kuvassa 4.

Suomessa viestiyhteys on toteutettu lähinnä 85 MHz:n taajuusalueella toimivalla radioverkolla. Verkon ongelmia ovat olleet rajoitetut tiedonsiirtomahdollisuudet. Uusista tiedonsiirtomahdollisuuksista yksi on pakettiradioverkko, jossa sanomat välitetään ketjussa asemalta toiselle etukäteen määritellyn siirtotien mukaisesti. Vianilmaisimet kuuluvat myös verkstoautomaatioon. Vianilmaisimet nopeuttavat vian paikallistamista. Suurin hyöty ilmaisimista saadaan, mikäli ne ovat kaukoluettavia. (Lehtonen ym. 1995.)



Kuva 4 Kauko-ohjattava erotinasema. (Lehtonen ym. 1995.)

3.1.5 Mittamuuntajat

Mittamuuntajia käytetään mittaus- ja suojaustekniikassa. Yleisimmin käytetyt mittamuuntajat ovat virta- ja jännitemuuntaja. Niiden tehtävänä on muuntaa primääripiirin jännite- ja virtasuureet mittareille ja releille (toisiokojeet) sopivaan arvoon eli laajentaa mitta-alaa. Niitä käytetään siksi, että mittareiden ja releiden rakentaminen suurille virroille ja jännitteille on teknisesti vaikeaa.

Mittamuuntajat ovat kojeita, joissa rautasydämen ympärillä on ensiö- ja toisiokäämit. Jännitemuuntajan rakenneperiaate on aivan sama kuin tavallisella tehomuuntajalla. Jännitemuuntaja on voimamuuntajaan verrattuna erittäin pienitehoinen. Virtamuuntajan tehtävänä on normaalisti ensiövirran pienentäminen. Sen tähden ensiön kierrosluku on pieni ja toision kierrosluku on suuri.

Virtamuuntaja valitaan joko suojaus- tai mittaustehtävään. Samaa virtamuuntajaa voidaan käyttää myös molempiin tarkoituksiin, sekä suojaukseen että mittaukseen. Tällöin virtamuuntajassa on useampia sydämiä. Sydämillä on yhteinen ensiökäämi, mutta kullakin sydämellä oma toisiokääminsä. Mittaukseen käytettävää sydäntä nimitetään mittaussydämeksi ja suojaukseen käytettävää sydäntä suojaussydämeksi. Ulosasennettavat virtamuuntajat ovat tavallisesti öljytäytteisiä ja hermeettisesti suljettuja, jotta öljy ei joudu alttiiksi ulkoilman kosteudelle. Ulkoisen eristyksen muodostaa tavallisesti posliinikuori. Sisäänasennettavissa virtamuuntajissa käytetään yleensä valuhartsieristystä. Sen etuna on suuri sähköinen ja mekaaninen lujuus. (Aura & Tonteri 1995, 446.)

3.2 Kytkinasemat ja kojeistot

Sähkö- eli kytkinaseman rakenne riippuu siitä, onko sen tehtävä yksistään sähköön jakelu, liittyykö asemaan voimalaitos vai onko kysymyksessä verkostossa kytkentä- tai muuntoasemana toimiva kytkinasema. Luonnollisesti aseman rakenteeseen vaikuttaa myös se, kuinka tärkeän verkoston solmukohdan laitos muodostaa. (Elovaara & Laiho 2007.)

3.2.1 Kojeistorakenteet

Kojeistorakenteita tarkasteltaessa voidaan suorittaa jako suur-, keski- ja pienjännitekojeistojen kesken. Pienjännitekojeistoa kutsutaan yleensä jakokeskukseksi ja sillä tarkoitetaan tilaa, johon on keskitetty sähkön kytkentä-, mittaus-, suojaus-, ohjaus- ja valvontalaitteita.

Suurjännitekojeistot

Suurjännite kojeistot voidaan jakaa ulko- ja sisäkojeistoihin. Lisäksi voidaan puhua avorakenteisesta ja koteloidusta kojeistosta. Myös kojeistossa käytettävä eriste on nykyisin keskeinen luokitusperuste kojeistorakenteita tarkasteltaessa.

Avorakenteinen ulkokojeisto tulee kysymykseen 123 kV ja sitä suuremmilla jännitteillä silloin, kun halpaa ulkotilaa on riittävästi käytettävissä. Tämä johtuu siitä, että rakentamiskustannusten säästö ja koteloidusta asennuksesta luopumisella saavutettu säästö korvaa sen lisähinnan, minkä suurempi tontti ja ulkoasennus kojeille aiheuttaa. Ahtaita kaupunkiseutuja lukuun ottamatta tällaiset kytkinlaitokset pyritään rakentamaan matalarakenteisina siten, että johtimia on vain kahdessa tasossa.

Ulkokytkinlaitoksissa pyritään välttämään muuntaja- ja kiskokatkaisijakenttien sijoittamista kytkinlaitoksen päätyyn, sillä muuten laajennukset ja kenttien vahvennukset hankaloituvat.

Avorakenteisten ulkokytkinlaitosten maisemahaittoja voidaan vähentää välttämällä asemien rakentamista aukeille paikoille tai vilkasliikenteisten teiden välittömään läheisyyteen. Samaten alkuperäisen puuston säilyttäminen mahdollisimman suuressa määrin samoin kuin istutusten käyttö helpottaa aseman sopeuttamista ympäristöön. Maisemahaittoja voidaan pienentää myös minimoimalla maansiirtojen ja kaivuutöiden määrä. Kuva 5 antaa esimerkin avorakenteisen 110 kV ulkokytkinlaitoksesta.



Kuva 5 110 kV ulkokytkinlaitos.

Erityisesti kaupungeissa ja teollisuuskeskuksissa joudutaan yhä useammin harkitsemaan sisäkytkinlaitoksen rakentamista myös 123 -420 kV jänniteportaassa. Syynä tähän on se, ettei helpolla löydy vapaata aluetta, joka olisi sekä sopiva että kohtuuhintainen ulkokytkinlaitoksen rakentamiselle. Ennen laitokset rakennettiin tällaisissa tapauksissa avorakenteisina sisäkojeistoina. Kustannusten säästämiseksi rakennustilavuutta yritettiin pienentää jo tuolloin kaikin mahdollisin keinoin. Käytettiin mm. tartuntarottimia, läpivientieristimiin sijoitettuja virtamuuntajia ja vaunukatkaisijoita. Esim. vaunukatkaisijan avulla 123 kV kojeistossa saavutettiin n. 25 % rakennustilavuuden säästö.

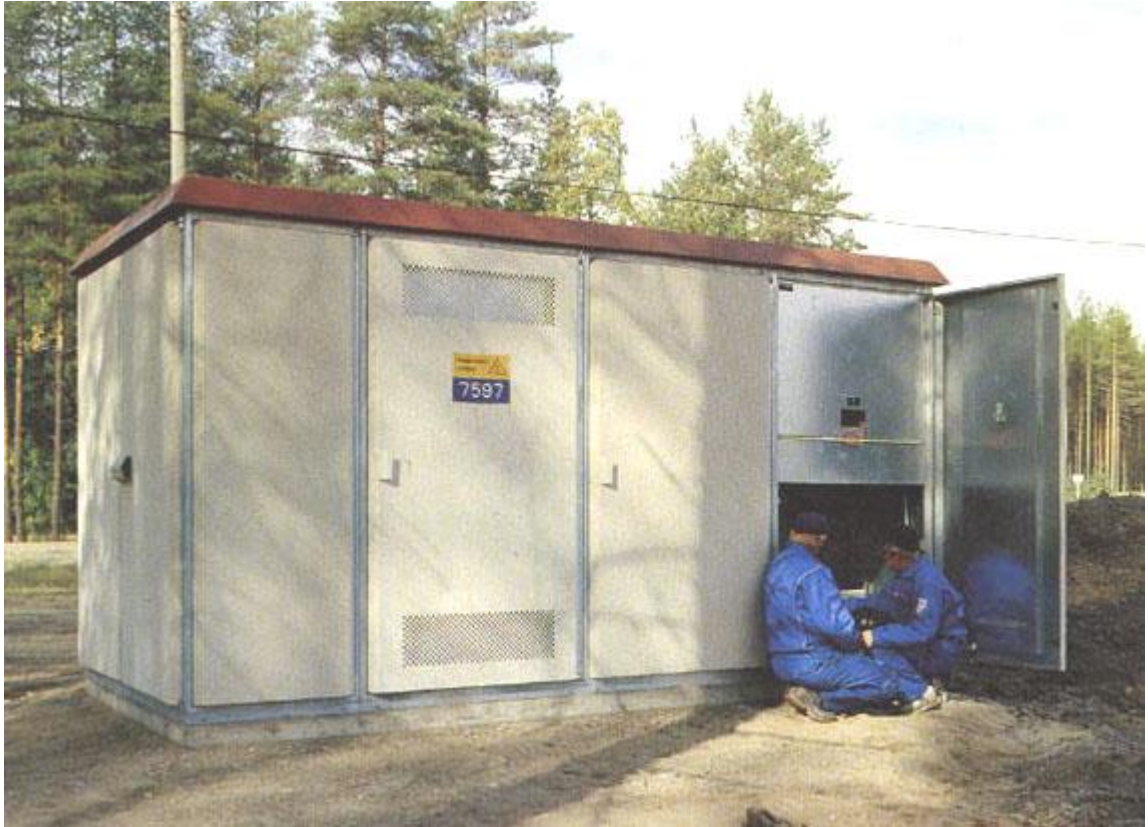
Nykyisin avorakenteisia sisäkojeistoja ei kannata enää rakentaa vaan niiden tilalle ovat tulleet SF6-eristeiset koteloidut kytkinlaitokset (GIS). GIS-laitoksen käyttö on tavallista myös vanhojen avorakenteisten sisäkytkinlaitosten saneerauksissa sekä avorakenteisten ulkokytkinlaitosten laajennuksessa silloin, kun käytettävissä oleva maa-aine ei ole riittävä vanhantyyppiseen laajennukseen.

Keskijänniteverkossa

Keskijänniteverkossa avorakenteiset sisäkojeistot ovat olleet yleisiä ratkaisuja. Ne on toteutettu tavallisesti kennoasennuksena, jossa kojeryhmät on erotettu toisistaan väliseinien avulla. Näin on saatu aikaan se, että kojeet ja kennoissa työskentelevät asentajat ovat suojassa viereisessä kennossa sattuvien häiriöiden aiheuttamilta vahingoilta. Keskijänniteverkossa kehitys on kuitenkin kulkenut täysin avoimista rakenteista kohti suljetumpia kojeistoja. Avoimien kojeistorakenteiden tilalle on tullut tehdasvalmisteisia kojeistoja, jotka on varustettu kattolevyillä sekä kennojen välisin seinin ja takaseinillä, jopa kennojen sisäisin seinin. Myös SF₆-eristys on tullut mukaan keskijänniteverkkoihin. Tällaiset kojeistot ovat kosketussuojaisia koteloituja kojeistoja. Avorakenteisia paikan päällä rakennettavia kennokojeistoja ei enää rakenneta edes saneerauksissa.

Koteloitu ulkokojeisto on käytännöllinen vaihtoehto silloin, kun apulaitteiden (ohjaus, asennonosoitus, mittaus, omakäyttö, apuenergia) tilantarve on niin pieni, että ne voidaan sijoittaa kojeiston yhteyteen. Tavallisesti koteloitu ulkokojeisto tulee kysymykseen 10...30 kV jännitteillä. Kytkemö valmistellaan tehtaalla kokonaisuutena, joka sisältää myös betoniset aluspalkit.

Äärimmilleen pelkistettynä koteloitu ulkokojeisto voidaan rakentaa ilman sisähoitokäytävää. Esimerkiksi tällaisesta kytkinlaitoksesta voidaan mainita 12...23 kV maakaapeliverkkojen muuntamoksi tarkoitettu ns. puistomuuntamo, (Kuva 6). Tehdasvalmisteisen kokonaisuuden sisään asennetaan kytkinlaitteiden lisäksi itse jakelumuuntaja. Kytkentälaitteena käytetään kuormaerotinta ja varokekuormaerotinta.



Kuva 6 Maakaapeliverkon muuntamo (puistomuuntamo)

Tehdasvalmisteisia koteloituja sisäkojeistoja käytetään silloin, kun on saatavissa tarkoitukseen sopiva standarttirakenteinen kojeistotyyppi, joka voidaan sijoittaa rakennuksen sisälle.

Henkilöturvallisuus-, käyttövarmuus- ja käytettävyyksvaatimukset yhdessä tilan minimointitarpeen kanssa ovat johtaneet siihen, että koteloidut kojeistot ovat vallanneet täysin keskijännitealueen markkinat. Ilman ohella eristeenä on alettu käyttää myös SF6-kaasua.

Jakeluverkkoa syöttävillä sekä voimalaitosten ja teollisuuslaitosten sähköasemilla keskijännitelaitokset toteutetaan yleensä järeinä katkaisijakojeistoina, kun taas jakeluverkkojen muuntamoilla käytetään kuormanerotinkojeistoja. Katkaisijakojeistoissa on nykyisin yleinen ratkaisu vaunukatkaisijakojeisto, samoin kiinteän maadoituserottimen käyttö on lisääntymässä. Kuormanerotinkojeiston erottimet ovat tavallisesti kiinteästi asennettuja.

Koteloitujen sisäkojeistojen ulkoseinät ja katto muodostavat nykyisin maadoituskelpoisen koteloinnin. Puhutaan metallikuorisesta kojeistosta (metal enclosed type, IEC 298). Kojeston sisäisen kotelointiasteen perusteella nämä metallikuoriset kojeistot jaetaan edelleen kenno-, metalli- ja tilakoteloituihin kojeistoihin.

Kennokoteloidussa kojeistossa on kennojen väliseinät mutta ei kennon sisäisiä väliseiniä. Siten kokoojakiskot, katkaisijat, mittamuuntajat ja kaapelipäätteet sijaitsevat samassa tilassa. Itse kokoomakiskotila voi olla koteloimaton tai koteloitu ja kisko voi olla rakennettu tukieristimille tai kenttien välillä on läpiviennit.

Kun kenno varustetaan omilla sisäisillä metallisilla väliseinillään, saadaan metalliosastoitu kojeisto. Siinä katkaisija, kokoojakiskosto ja lähdön komponentit ovat kukin omassa tilassaan. Käyttöhenkilökunnan turvallisuus on siten parempi kuin kennokoteloiduissa kojeistossa.

Mikäli kennon sisällä käytetään metallisten väliseinien sijasta yhtä tai useampaa eristeaineesta tehtyä väliseiniä, puhutaan tilakoteloidusta ratkaisusta. Viimeksi mainitussa on varmistettava, etteivät eristeaineiset seinämät eivät tuhoudu ajan kuluessa vanhenemisen, kosteuden ja lian vaikutuksesta ja ettei seinämä sula tai rikkoudu valokaaren lämpö- ja painevaikutusten vuoksi.

Suomessa on varsin pitkään sovellettu tehdasvalmisteisia kennotyyppisiä sisäkojeistoja. Ensimmäisissä sovellutuksissa kiinteä katkaisija oli sovitettu lattialle ja kojeistossa oli metallirakenteinen etuseinä. 1960-luvulla tulivat käyttöön usealle eri kiskojärjestelmälle sovitettut kiintokatkaisijakojeistot, joissa kennot voitiin erottaa kokoojakiskostoista erottimien avausväliin työnnettävällä eristävällä työskentelysuojalla. Ohjaus- ja mittauspiirit oli jo kauttaaltaan teräslevykoteloitu omaan tilaansa. Kojeston kiinteä asennustapa salli varsin suurivirtaisen ja oikosulkukestoisen toteutuksen. Henkilöturvallisuutta oli lisätty myös valokaari-painekoestuksella ja puomilla, joka esti jännitteiseen kennoon kävelyn.

1970-luvulla tulivat käyttöön ns. vaunukatkaisijakojeistot, jotka kehitettiin sähkölaitosten ja teollisuuden vaativiin käyttötarpeisiin huollon nopeuttamiseksi ja erottimien aiheuttamien vikojen vähentämiseksi. Katkaisijaa ympäröivät erottimet oli korvattu ilmavälillä, joka syntyi vedettäessä katkaisija vaunu ulos kennosta. Vaunu ja katkaisija oli lukittu mekaanisesti toisiinsa siten, etteivät virhe-toiminnot olleet mahdollisia vaunua siirrettäessä. Kojesto loi valokaarioikosulkukesteinen, sen tukieristimien tai läpivientieristimien varaan asennetut kokoojakiskot eristettiin muusta kennosta työskentelysuojalla katkaisijavaunun ulosve-tämisen jälkeen. Kaikkiin ohjauspiireihin päästiin käsiksi kojeiston ollessa jännit-teellinen. Vaunukatkaisijana käytettiin yleisesti vähäöljykatkaisijaa.

Nämä vaunukatkaisijajärjestelmät toteutettiin yksikisko- tai kaksikatkaisijajärjes-telminä. Tosin duplexeissakin yleensä säästettiin järjestämällä laitokseen vain yksi yhteinen varakatkaisija. Lähdön siirto kiskolta toiselle edellytti siten laitok-sella käyntiä. Kauko-ohjauksen käyttö edellytti luonnollisesti duplexissa kahden katkaisijavaunun käyttöä lähtöä kohti.

Vaunukatkaisijakojeistoja valmistetaan yhä. Olennaisena kehityspiirteenä on metalliosastoidun rakenteen tulo kennorakenteen rinnalle sekä katkaisijavaunun kiinni- ja erotusasentojen sovittaminen erillisen oven sisäpuolelle, jolloin kaikki ohjaustoimenpiteet voidaan suorittaa turvallisesti ovia avaamatta. Turvallisuut-ta lisäävät myös oikosulkukestoiset maadoituserottimet, jotka on mekaanisesti lukittu katkaisijavaunun asentoon, katkaisijan ja vaunun täydellinen lukitus kyt-kentävirheitä vastaan, edelleen parannettu Valokaarikestoisuus ja palotiiveys, ohjauskaapeleiden vienti suojaputkiin suurjännitetilassa jne. Katkaisijoina käyte-tään vähäöljykatkaisijoiden rinnalla ja niitä syrjäyttäen tyhjö- ja SF6-katkaisijoita.

Uusimpia rakenneratkaisuja edustavat ns. kasettikojeistot, joissa kytkinlaitteena käytetään SF6- tai tyhjökatkaisijakasettia. Jokaisesta kojetilasta on oma valo-kaaripaineen purkauskanavansa ulkotilaan. Kasetin vaihto tapahtuu siirtovau-
nulla. Kojiston rakenne on metallisoitu tai tilakoteloitu. Myös kasetin alle jäävää tilaa voi käyttää kalustukseen. Suljettu ovi on kaikkien kytkentätoimenpiteiden edellytys. Katkaisijakasettia ulos vedettäessä kokoojakisko- ja kaapelitilat sul-
keutuvat automaattisesti toimivilla sulkulevyillä, joten erillisiä työskentelysuojia ei tarvita. Työmaadoituserotin on kytkentäkykyinen.

Viime vuosina ovat SF6-eristeiset keskijännitekojeistot tunkeutuneet voimak-
kaasti markkinoille. Niiden etuna on nyt, kuten suurjännitteelläkin, pienempi ti-
lantarve. Erot eivät kuitenkaan ole yhtä dramaattiset keskijännitteellä kuin suur-
jännitteellä. Esimerkiksi yksikiskojärjestelmässä tilansäästö on huonekorkeu-
dessa ja –leveydessä SF6-ratkaisua käytettäessä hyvin vähäinen, mutta kak-
soiskiskojärjestelmässä päästään n. 1 m kapeampaan huonetilaan. Kojiston
pituudessa keskijännite-GIS säästää n. 30 -70 % Ns. muuntamokojeistoissa on
tilantarve SF6-eristeisiä ratkaisuja käyttäessä noin 1/3 pituussuunnassa ja ½
korkeussuunnassa normaalin ilmaeristeisen laitoksen vaatimasta tilasta.

Pienjännitteiset jakokeskukset

Pienjännitteiset jakokeskukset voidaan jakaa rakenteensa perusteella kahteen
luokkaan. Puhutaan avoimista ja koteloiduista keskuksista. Koteloidut keskukset
voidaan kotelointiasteensa perusteella luokkiin (ns. IP-luokat). Voidaan tehdä
esimerkiksi ero kosketussuojaisten ja kosketussuojattujen keskusten tai kojei-
den kesken.

Avoimia pienjännitekeskuksia saa käyttää vain sähkötilassa, jonne normaalisti
on pääsy vain asiaankuuluvalla käyttöhenkilökunnalla. Keskus vaatii suurem-
man tilan kuin kosketussuojainen keskus, ja se on huono ratkaisu myös käyttä-
vän turvallisuuden kannalta. NykYTEKNIKALLA ei ole välttämätöntä rakentaa avoi-
mia pienjännitekeskuksia. Siksi pä tällaisia keskuksia tavataankin lähinnä vanho-
jen muuntoasemien ja tehdasasemien pääkeskuksina.

Kosketussuojainen keskus rakennetaan siten, että paljaat jännitteiset osat ovat kosketeltavissa vain irrottamalla työkalulla avattava peitelevy tai muu vastaava suojus. Kosketussuojainen keskus on sijoitettava kuivaan ja palovaarattomaan tilaan. Näitä keskuksia käytetään yleisesti asuin- ja liiketiloissa sekä osittain myös teollisuudessa, jossa mekaanisen vahingoittumisen vaara on vähäinen. Useimmiten kosketussuojaiset keskukset kiinnitetään suoraan seinälle kiinnityslokkeistaan tai sidekiskoistaan. Pienet ryhmäkeskukset voidaan upottaa seinään. Myös siirrettävät pistotulppaliitännäiset keskukset kuuluvat kosketussuojaisten keskusten ryhmään. Keskuksen käyttötoimenpiteenä käsiteltävät osat, kuten painonapit, tulppavarokkeiden suojakannet ja kytkimien käyttöelimet on tuotu keskuksen kannen ulkopuolelle.

Kosketussuojatut jakokeskukset on tarkoitettu teollisuuden moottori-, voima- ja valaistuskäyttöön. Ne soveltuvat myös ulkokäyttöön ja muutenkin epäedullisiin ympäristöolosuhteisiin. Esimerkiksi roiskeveden pitävää keskusta voidaan aina käyttää kuivassa ja kosteassa tilassa sekä yleensä myös märkiä tai syövyttäviä aineita sisältävissä tiloissa. Poikkeukset muodostavat käyttötilat, joissa keskus on jatkuvasti tai pitkäaikaisesti alttiina syövyttävälle kaasulle, palavalle nesteelle tai usealta suunnalta roiskuvalle nesteelle. Roiskeveden pitävien keskusten lisäksi valmistetaan erikoiskäyttöön tarkoitettuja, tippuveden pitävää tai vedenpitävää rakennetta olevia keskuksia.

Rakenteeltaan kosteussuojatut keskukset poikkeavat esim. kosketussuojatuista keskuksista siinä, että keskus koostuu yleensä erillisistä koteloista ja kennoista. Käyttötoimenpiteinä käsiteltävistä osista on keskuksen ulkopuolelle tuotu vain osat, joiden läpivienti on helposti tehtävissä tiiviisti. Sitä vastoin esim. varokkeet on sijoitettu tiivistettyyn, kannen alla olevaan tilaan. Kannen lukitus tai kotelon sisustus on järjestetty siten, että myös kosketussuojaisuusvaatimukset tulevat täytetyksi.

Tehtäviensä mukaan pienjännitteiset jakokeskukset jaetaan pääkeskuksiin ja erinimisiin alakeskuksiin. Niinpä puhutaan nousukeskuksista, ryhmäkeskuksista, mittarikeskuksista, ohjauskeskuksista, moottorikeskuksista, työmaakeskuksista, jne. Terminologiasta voidaan todeta, että pääkeskuksessa tapahtuu esi-

merkiksi kiinteistön sähköverkon liittyminen sähkölaitoksen jakeluverkkoon. Ryhmäkeskuksesta taas lähtevät syöttöjohdot eri kulutuskojeille. Pää- ja ryhmäkeskusten välissä sijaitsevat nousukeskukset. Nämä keskustyyppit ovat tavallisesti kosketussuojaista rakennetta. Työmaille ja muuhun tilapäiseen sähköjakeluun tarkoitetut työmaakeskukset ovat puolestaan vähintään roiskeveden pitäviä. (Elovaara & Laiho 2007.)

3.2.2 Kaasueristeiset laitteistot

SF6-eristeiset kytkinlaitokset

Tilankäytön muodostuessa ympäristökysymysten ohella entistä merkittävämäksi kriteeriksi kytkinlaitostyyppin valinnassa ovat SF6- eristeiset kytkinlaitokset (GIS) nousseet yhä kilpailukykyisempään asemaan. Nykyisin SF6-erteisiä ratkaisuja käytetään jännitealueella 12...800 kV nimellisvirtojen ollessa 630...8000A. Oikosulkukestoisuudet vaihtelevat alueella 12.5 - 100 kA.

Suurjännite-GIS-laitosten kojeet

Suurjännite –GIS-laitosten komponentit poikkeavat monelta osin koventionaalisten laitosten komponenteista. Katkaisijat ovat luonnollisesti SF6-katkaisijoita ja niissä käytetään autopneumaattista periaatetta. Katkaisija voidaan sijoittaa valmistajasta riippuen vaaka- tai pystyasentoon. Pystyasennuksessa katkaisijan päälle tarvitaan huollon takia riittävästi vapaata tilaa. Myös nosturi on välttämätön. Vaaka-asentoinen katkaisija voidaan vetää huoltoa varten ulos ulosveto-vaunulla.

GIS-laitosten erottimet ovat erikoislaitteita, joissa koskettimien muotoiluun kiinnitetään suurta huomiota. Tämä johtuu siitä, että erottimien avausvälissä erotinta avattaessa syntyvät jälleensyttymiset etenevät suurtaajuusinakin ilmiöinä GIS-laitosten ”aaltoputkimaisessa” rakenteessa vaimentumattomina kauas aiheuttaen ongelmia toisiopiireissä sekä jopa muuntajissa (ns. käämin sisäinen resonanssi). Myös lähinnä pelästymisen aiheuttavat kosketusjännitteet ovat mahdol-

lisia. Normaalisti GIS-erottimilla ei ole virrankatkaisukykyä, joten sillä voidaan tehdä jännitteettömäksi vain lyhyitä kiskon osia. Erottimen ohjaus tapahtuu moottorihjaimella. Erottimia valmistetaan ”suoramuotoon” ja ”kulmamuotoon”.

GIS-laitoksessa on normaalisti kahdenlaisia maadoituserottimia, ns. työmaadoituserottimet ja pikamaadoituserottimet. Edelliset pystyvät vain johtamaan täyden oikosulkuvirran, jälkimmäiset pystyvät sekä katkaisemaan että johtamaan sen. Pikamaadoittimilla on myös kapasitiivisten ja pienten induktiivisten virtojen katkaisukyky. Työmaadoituserotin on moottorihjattu, pikamaadoituserotin tarvitsee esim. energiaa varastoivan jousen ohjaimeensa koskettimen nopean liikkeen aikaansaamiseksi.

Virtamuuntajat ovat rengasvirtamuuntajatyypisiä, jolloin niiden toision kuormitettavuus on pieni. Kolmivaihekoteloidussa muuntajassa sydän toisiokäämeineen on sijoitettava kotelon sisäpuolelle. Yksivaiheista kotelointia käytettäessä myös kotelon ulkopuolinen sijoitus on mahdollinen, mutta tällöin on huolehdittava siitä, että koteloon indusoitunut virta ei pääse kulkemaan virtamuuntajan läpi. Jännitemuuntajat ovat yleensä magneettisia tai kapasitiivisia. Ne ovat massiivisia ja suhteellisen kalliita, minkä vuoksi konvertionaalisten jännitemuuntajien käyttö voi avojohtoliitynnöissä osoittautua kannattavammaksi.

Keskijännite-GIS-laitosten rakenne

Keskijänniteverkkojen GIS-laitoksia valmistetaan sekä varsinaisina katkaisijakytkinlaitoksina että ilmaeristeisiä kuormaerotinkojeistoja korvaavina muuntamokojeistoina (ns. RMU-kojeisto). Molemmat on tarkoitettu kaapeliliityntään. Edellisissä kokoojakiskot, kaapelipäätteet ja katkaisijat ovat tyypillisesti omissa kaasutiloissaan, joissa ylipaine on 1,2...1,5 bar. Valmistajasta riippuen kiskot ovat yksi- tai kolmivaiheisesti koteloituja ja katkaisijat ovat SF₆- tai tyhjökatkaisijoita. Koko keskijännitealue katetaan tyypillisesti yhdellä rakenteella, jossa eri jänniteportaiden jännitelujuusominaisuuksiin päästään yksinkertaisesti kaasun painetta nostamalla. Kojeistoja on pystytty kehittämään suurjännite-GIS-laitoksiin verrattuna siten, että niitä on helppo laajentaa ilman keskeytystä. Jopa yhden kiskon lisääminen voi olla mahdollista ilman totaalista keskeytystä. Tyy-

pillistä keskijännite-GIS-laitoksille on myös kokoojakiskon ja katkaisijan välille asennettu kolmiasentoinen (kiinni, auki, maadoitettu) käsi- ja moottoriohjattu erotin, työmaadoittaminen katkaisijan kautta sekä jänniteindikoinnin järjestäminen työmaadoittimeen.

Virtamittaus suoritetaan tyypillisesti ulkopuolisilla rengasvaimentajilla ja jännitteenmittaus magneettisella tai kapasitiivisella jännitemuuntajalla. Mittamuuntajien toisionavat sijaitsevat kaasutilan ulkopuolella koestusten helpottamiseksi. Laitosten nimellisvirrat ovat tyypillisesti 630-2500 A ja katkaisukyvyt 12,5...40 kA.

SF₆-eristeisen muuntamokojeiston eli RMU:n (ring main unit) kehitys on saanut alkunsa valumuovieristeisten kompaktimuuntamoiden vuotovirtaongelmista. RMU on kaapeloidun keskijänniteverkon kuormanerotinkojeisto, jonka nimellisvirta on tyypillisesti 630 A ja oikosulkukestoisuus 50 kA. Sen sijoituspaikkana on kiinteistömuuntamoissa sisätila tai puistomuuntamoissa ulkotila. Rakenne on toteutettu siten, että kuormanerotin ja maadoitusveitset sijaitsevat samassa 200...300 litran vetoisessa, teräslevyistä valmistetussa kaasutilassa, johon on järjestetty jäännöskosteuden ja SF₆:n hajoamistuotteet sitova suodatin. Kaasutilassa olevat kytkinlaitteet eivät ole huollettavissa, minkä vuoksi niiden toimintavarmuuden tulee olla korkeata luokkaa. (Elovaara & Laiho 2007, 320-327.)

3.3 Akustot

Akusto sijoitetaan omaan huonetilaansa, jonka lattia on elektrolyytin kestävä. Huoneessa tulee olla riittävä tuuletus akkuja varattaessa syntyvän vetykaasun syntymisen johdosta. Kahdennetun järjestelmän akustot voidaan sijoittaa mahdollisuuksien mukaan omiin erillisiin huoneisiin toisistaan riippumattomina parantamaan käyttövarmuutta. Eri huoneisiin sijoittamalla ulkoinen vaara, kuten räjähdys tai palo, ei lamaannuta sähköaseman tasasähköjärjestelmää. Palo-kuorman pienentämiseksi akustohuonetta ei myöskään tule käyttää kaapeleiden läpikulkureittinä. (Sähköasemat III 1984.)

Tavallisimmin tasasähkön varastointiin käytetään yksittäisiä sarjaan kytkettyjä lyijyakkuja. Akuston jännite määräytyy siitä, montako akkua järjestelmään on kytkettynä. Yhden kennon jännite on noin 2 V, joten esimerkiksi 53:lla kennolla päästään lähelle haluttua 110 V:n tasasähköjännitettä. Lyijyakussa nestekoskeuksissa olevat lyijyelektrodit muodostavat keskenään parin, jossa vapautuu tai sitoutuu elektroneja. Akku siis muuntaa kemiallista energiaa sähköenergiaksi. Prosessia kutsutaan reversiibeliksi, mikä tarkoittaa sitä, että elementtiä voidaan ladata tai purkaa. (Akkuesite 2003.)

Ominaisuuksia

Lyijyakku muodostaa sitä varattaessa vetykaasua, joka muodostaa ilman kanssa 4 - 96%:n pitoisuudella räjähtävän seoksen. Tästä syystä akkutilassa tulee olla aina hyvä, ja tarvittaessa koneellisesti tehostettu ilmanvaihto. Vetykaasun muodostumisprosessissa katoaa kennosta vettä. Joissakin akkutyypeissä pitää vettä kennoon lisätä manuaalisesti, mutta on myös olemassa akkutyypejä joiden rakenteeseen kuuluu venttiilit, minkä kautta haihtuva vesi johdetaan suoraan takaisin kennoon. (St-kortisto 52.30)

Akuston huolto ja kunnossapito

Huollolla ja olosuhteilla on merkittävä vaikutus akuston käyttöikään. Hyvin huollettu akusto toimii luonnollisesti pidempään kuin huoltamaton. Akkujen sijoituspaikan lämpötila on ehkä kuitenkin merkittävin käyttöikään vaikuttava tekijä. Optimaalisin lämpötila akkuhuoneelle on mahdollisimman tasainen 20°C lämpötila. 10°C lämpötilan nousu vaikuttaa akuston käyttöikään dramaattisesti, se lyhenee puoleen. Alhaisempi lämpötila vastaavasti vaikuttaa akustoon siten, että siitä ei saada täyttä kapasiteettia käyttöön. Suljetuin lyijyakuin toteutetun akuston laskennallinen käyttöikä on vähintään 10 vuotta.

Akustoille tehdään määräajoin kuormituskokeita. Kuormituskoe tehdään akkuvaraajasta irrotetulle täysin varatulle akustolle kytkemällä siihen vakiokuorma 5 h ajaksi, eli koe on 50 %:n kapasiteettikoe. Kuormitusvirta määrittyy akustokohtaisesti. Määrä saadaan tietää valmistajan purkausvirtataulukosta. Akuston jännitettä mitataan kokeen aikana useasti kennokohtaisesti, jolloin havaitaan mahdolliset vioittuneet kennot. (Akuston mitoitus 2004.)

3.4 UPS

UPS -laitteen rakenne ja toiminta

UPS -laitteella (Uninterruptible Power Supply) tarkoitetaan nykyään staattista, tehoelektroniikan laitetta, joka akkujensa turvin takaa katkottoman sähkönsyötön kriittiselle kuormalle. UPS -laitteelle voidaan asettaa kaksi päätehtävää: parantaa verkkosähkön laatu ko. kuormitukselle riittäväksi ja antaa kaksi sähkönsyöttölinjaa, pääsyöttölinja ja varasyöttölinja eli ohituslinja. Varasyöttölinjaa käytetään, mikäli pääsyöttölinja on poikki, esim. UPS -laite on rikki, jolloin sähkönsyöttö siirtyy staattiselle ohitukselle.

Kaikissa UPS:ssa on toiminnallisina kokonaisuuksina tasasuuntaus/varaus, akusto ja vaihtosuuntaus, sekä siinä tulisi olla staattinen ohituskytkin. Tämän lisäksi voi olla vakiona tai optiona mekaaninen, käsin ohjattava huolto-ohituskytkin. Myös UPS:n ohjaus- ja valvontajärjestelmät muodostavat oman toiminnallisen kokonaisuutensa.

Tasasuuntaaja voi olla toteutettu pienitehoisissa laiteissa diodeilla ja suuremmissa tyristoreilla tai uusimmissa UPS:ssa transistoreilla. Tasasuuntaajan tärkeimmät ominaisuudet ovat tulojännitteen toleranssit, esim. jännite $U_n \pm 15\%$ ja taajuus Hz:n $\pm 6\%$, pieni särö verkkoon päin, tasajännitteen säädettävyys ja tarkkuus, paristovirran pieni sykkeisyys, automaattinen ja säädettävä pikavaraus, pehmytkäynnistys, suojaukset ja vikadiagnostiikka.

Tasasuuntaajassa on varsinaisen sillan lisäksi yleensä katkaisija, LC -suodin sekä ohjaus- ja säätöpiirit. Yleisin ratkaisu on 6-pulssinen tasasuuntaaja, mutta säröä verkkoon päin voidaan merkittävästi pienentää 12-pulssisella tasasuuntaajalla.

Vaihtosuuntaussilta tehtiin aiemmin tyristoreilla mutta nykyisin pääsääntöisesti transistoreilla. Useimmat vaihtosuuntaajat tekevät lähtöjännitteen PWM- tekniikalla taajuuden ollessa 2 - 10 kHz. Varsinaisen sillan lisäksi vaihtosuuntaajaan kuuluu DC ja LC suotimet, muuntaja sekä ohjaus- ja säätöpiirit. Vaihtosuuntaajan tärkeimmät ominaisuudet ovat lähtöjännitteen staattinen ja dynaaminen pysyvyys ($\pm 1\%$ ja $\pm 5\%$) sekä ylikuormitettavuus, vinokuormitettavuus, särö kuormaan päin, hyötysuhde, suojaukset ja vikadiagnostiikka.

Staattinen eli elektroninen ohituskytkin on useimmiten tyristoreilla tehty kytkin, joka esimerkiksi ylikuormitus- tai vikatilanteissa siirtää kuorman automaattisesti ja katkotta verkkosyötölle. Automaattisen toiminnan lisäksi tulee kytkimen toimia myös käsin ohjattaessa. Jotta kuorman siirtäminen katkotta ohitukselle olisi mahdollista, on kytkimen seurattava verkkojännitettä ja oltava tahdistettuna siihen. Mekaaninen huolto-ohituskytkin voi olla UPS -laitteet sisäinen, mutta huollon kannalta parempana ratkaisuna on ulkoinen erillinen ohituslinja. Kummasakin tapauksessa huolto-ohitus on rakennettava siten, että kuorman siirto ohitukselle voidaan tehdä katkotta.

Akustona UPS -laitteissa käytetään sekä suljettuja että avoimia akkuja. Ensin mainitut ovat yleistyneet parempien purkausominaisuuksiensa ansioista lyhyillä purkausajoilla, jotka UPS käytöissä yleensä ovat 5 - 30 minuuttia. Suljetuilla akuilla saadaan säästöjä myös asennuskustannuksissa (ei tarvita erillistä akkuhuonetta). Sen sijaan käyttöikä jää lyhyemmäksi kuin avoimilla akuilla, joilla päästään jopa 15 vuoden käyttöikään. Akustojännite pienissä laitteissa voi olla 24 - 120 VDC ja suuremmissa 220 - 400 VDC. Uusimmissa UPS:ssa käytetään jopa 2 x 400 VDC jännitettä, jolloin vaihtosuuntaajassa ei tarvita jännitteenkorotusmuuntaajaa ja häviöt jäävät pienemmiksi. Akusto pidetään puskuvarauksessa ja se on heti valmis tarvittaessa syöttämään vaihtosuuntaajaa.

Ohjaus- ja valvontajärjestelmät ovat UPS:ssa viimeaikoina kehittyneet paljon ja nykyaikainen UPS voidaan liittää aktiiviseksi osaksi tietoverkkoa esimerkiksi SMNP:n avulla. Itse UPS:n toiminnasta on kyettävä seuraamaan ainakin seuraavia asioita: tulevan sähköverkon tila, tasasuuntaajan toiminta, alhainen akustojännite, vaihtosuuntaajan toiminta, elektronisen ohituskytkimen toiminta, mekaanisen ohituskytkimen toiminta, lähtevän verkon tila ja UPS:n toimintalämpötila. (TTT-käsikirja 2000.)

3.5 Kompensointilaitteet

Pätötehon lisäksi monet sähkölaitteet vaativat myös loistehoa toimiakseen. Tällaisia laitteita ovat esimerkiksi oikosulkumoottorit ja muuntajat. Näissä laitteissa varsinaisen työn tekee pätöteho ja loistehoa tarvitaan magneettikentän ylläpitämiseen. Esimerkiksi tyhjäkäynnissä pyörivä oikosulkumoottori ottaa verkosta lähes puhdasta loisvirtaa.

Kun kuorman tarvitsemaa loistehoa ei tuoteta paikallisesti, ottaa kuorma sen verkosta. Tällöin kuorman ottama virta kasvaa. Virta voidaan jakaa kaavan 1 mukaisesti pätö- ja loiskomponentteihinsa.

$$I = \sqrt{I_p^2 + I_q^2} \quad (1)$$

I_p = virran pätökomponentti

I_q = virran loiskomponentti.

Kaavasta voidaan nähdä miksi loistehon siirtäminen verkossa on haitallista. Mikäli loistehoa tuotettaisiin kulutuskohteen läheisyydessä, voitaisiin kokonaisvirtaa, jonka mukaan verkon laitteet mitoitetaan, pienentää. Kun loisteho tuotetaan kulutuskohteen lähistöllä rinnakkaiskondensaattoriparistolla, puhutaan rinnakkaiskompensoinnista. Pienentyneestä virrasta on monia etuja. Ensinnäkin johtimista vapautuu siirtokapasiteettia pätötehon siirtoa varten. Kompensoimalla loistehoa voidaan verkon pätötehon siirtokykyä parantaa olennaisesti.

Toiseksi kompensoinnilla voidaan pienentää pätötehohäviöitä. Kompensoitaessa loistehoa kulutuskohteessa voidaan pienentää edellä esitetyn kaavan 1 I_q -komponenttia. Täten kokonaisvirran pienentyessä myös syntyvät häviöt pienenevät ja komponenttien (kaapelit, muuntajat keskukset) lämpötila pienenee. Sarjakompensoinnissa vaikutetaan johdon reaktanssiin kytkemällä sen kanssa kondensaattori sarjaan. Tällöin johdon jännitteen aleneman lauseke saa kaavassa 2 olevan muodon.

$$U_{av} = I_p R + I_q (X_L - X_C) \quad (2)$$

U_{av} = jännitteen alenema (vaihejännite)

X_L = johdon reaktanssi

X_C = kondensaattorin reaktanssi.

Sarjakompensoinnilla pienennetään johdon sähköistä pituutta. Sitä käytetään lähinnä siirtoverkoissa. Sähköyhtiöt ja tukkumyyjät laskuttavat asiakkaitaan myydyn pätötehon lisäksi myös loistehosta. Normaalisti kuluttaja saa ottaa verkosta ilmaiseksi loistehoa noin 20 % pätötehon tarpeestaan. Tämän ylittävältä osalta loistehomaksut nousevat jyrkästi. Esimerkiksi suurissa teollisuuslaitoksissa liiallinen loistehon otto verkosta voi aiheuttaa satojentuhansien markkojen ylimääräisen laskun. (Hiltunen & Laitinen)

3.6 Keskukset

Keskukseen eli sähkötauluun on sijoitettu sähköasennusten suojalaitteet kuten sulakkeet, johdonsuoja-automaatit ja vikavirtasuojat. Pientaloissa liittymän pääkeskuksena toimii usein tonttikeskus, joka sijoitetaan pihalle esimerkiksi rakennuksen seinän viereen. Pääkeskus voi olla myös teknisessä tilassa. Pääkeskuksessa sijaitsee sähköön kulutuksen mittari, joka yhä useammin on kaukoluet-tava. Rakennuksen sähköjohdot liittyvät pääasiassa ryhmäkeskukseen, joka sijaitsee esimerkiksi tuulikaapissa. (Sähköala.fi)

Varokeautomaatit

Varokeautomaatit eli johdonsuojakatkaisijat ovat ylivirtasuojia, joilla pyritään korvaamaan varokkeen ja sulakkeen tehtäviä. Niissä on magneettipiirin avulla toimiva hetkellislaukaisu suurilla virroilla ja bimetallilaukaisija pienillä virroilla. Rakenteensa vuoksi johdonsuojakatkaisijat ovat käyttökelpoisia myös automaattisen avautumisen jälkeen. Varokeautomaatin laukeamisesta voidaan saada myös hälytys. Tästä syystä ne ovat suosittuja mm. erilaisissa apujännitepiireissä. (Sähkötekniikan käsikirja 1975, 673.)

3.7 Rakennukset

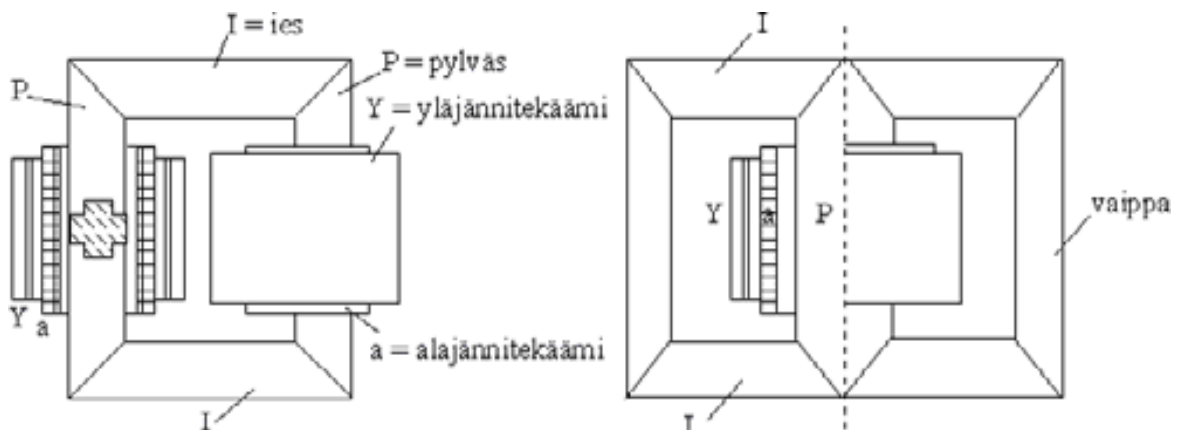
Erilaisille rakennuksille ja sähkötiloille on omat määräyksensä, jotka määritellään SFS Standardeissa. Ne koskevat turvallisuutta, maadoittamista ja kunnossapitoa. Kytkinasemien maahan asennettavat maadoitusristikot sekä asemien aitaukset ja portit on määritelty laissa tarkasti. Lisäksi ympäröivään puustoon ja johdinten reitteihin on omat määräyksensä. Sähkötilojen turvallisuuteen vaikutetaan mm. turvavaloilla sekä sammutusjärjestelmillä.

3.8 Muuntajat

Muuntajan perusosat ovat rautasydän ja käämitykset. Näiden lisäksi voi muuntajaan kuulua laitteita jännitesäätöä ja muuntajan jäähdytystä varten.

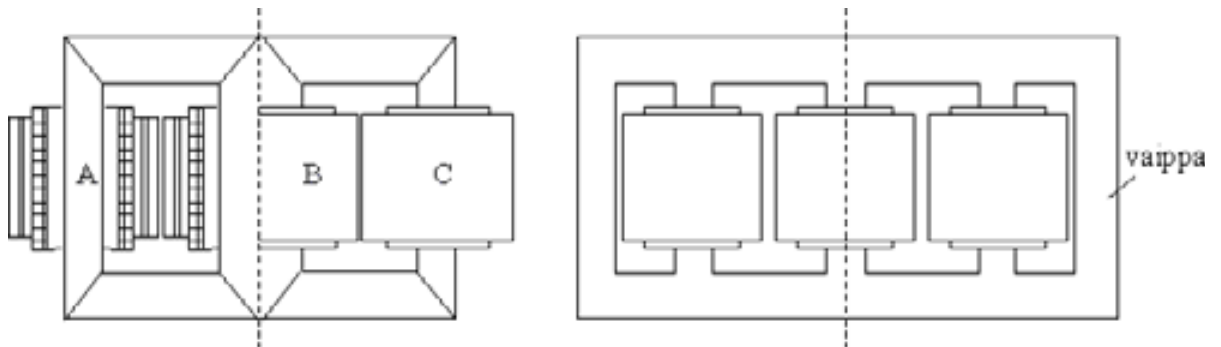
Rautasydän

Rakenteensa puolesta voivat muuntajat olla joko sydän- tai vaippamuuntajia jotka on esitetty kuvassa 7. Rautasydämeen kuuluvat kaksi pylvästä, joiden ympärille on sijoitettu sylinterimäiset käämitykset. Pylväät on yhdistetty toisiinsa ikeillä. Pylväät ja ikeet muodostavat yhdessä suljetun magneettipiirin. Rautasydämessä sanotaan pylväiden ja ikeiden rajoittavan aukkoa ikkunaksi. Käämityksiä on kaksi. Niitä kutsutaan yläjännite- ja alajännitekäämitykseksi tai tehon kulkusuunnan mukaan ensiö- ja toisiökäämitykseksi. Käämimateriaalina käytetään kuparia tai alumiinia. Ensiökäämi ja vastaava toisiökäämi sijoitetaan yleensä samalle pylväälle.



Kuva 7 Kuvassa vasemmalla yksivaiheinen sydän muuntaja ja oikealla yksivaiheinen vaippamuuntaja.

Kuvassa 8 on esitetty kolmivaiheinen sydän- ja vaippamuuntaja. Sydänmuuntajassa on joka vaiheella oma pylväänsä, jolla on vaiheeseen kuuluvat kaksi käämistä. Vaippamuuntajassa yhden vaiheen magneettivuolla on toisista vaiheista riippumaton paluutie. Suurin osa kolmivaihemuuntajista on sydänmuuntajia johtuen siitä, että sydänmuuntajan rakenne on yksinkertaisempi ja jäähdytyksen kannalta edullisempi kuin vaippamuuntajan.



Kuvassa 8 Vasemmalla kolmivaiheinen sydänmuuntaja ja oikealla kolmivaiheinen vaippamuuntaja.

Rautasydän valmistetaan nykyisin yleensä 0,30 mm:n vahvuisesta suunnatusta muuntajalevystä. Levyeristeenä on lakka, oksidikerros tai kemiallisen ja lämpökäsittelyn avulla valmistettu eristyskerros, joka tunnetaan nimellä `carlite`. Pylväiden poikkileikkaus on pienissä muuntajissa neliskulmainen. Keskikokoisissa muuntajissa käytetään ristinmuotoista poikkipintaa ja suurissa muuntajissa useaan kertaan porrastettua poikkipinnan muotoa.

Käämitykset

Rautasydämen pylväillä olevia käämityksiä nimitetään tehon kulkusuunnan mukaan ensiö- ja toisiokäämityksiksi. Teho tulee muuntajan ensiökäämitykseen ja jatkaa matkaansa toisiokäämityksestä. Käämityksiä nimitetään myös jännitteen mukaan yläjännite- ja alajännitekäämitykseksi.

Käämitykset valmistetaan poikkileikkaukseltaan pyöreästä lattalangasta leikkaukseltaan suorakaiteenmuotoisesta kupari- tai alumiinitangosta. Eristysaineet ovat yleensä A- lämpöluokan eristeitä. Kun käämin nimellisvirta on enintään muutamia kymmeniä ampeereja, tehdään käämi pyörölankakääminä. Suuremmilla virroilla käytetään käämitykseen tilan säästön ja mekaanisen lujuuden vuoksi muotojohdinta, jonka poikkileikkaus on suorakaide.

Jäähdytys

Muuntajassa syntyvät häviöt lämmittävät sen rautasydäntä ja käämityksiä. Syntyvä lämpö on johdettava muuntajasta pois ympäröivään ilmaan.

Lämmön poistamiseksi muuntajasta käytetään jäähdytysaineena ilmaa tai öljyä. Joissakin erikoistapauksissa käytetään palamattomia nesteitä (esim. askarelia). Muuntajaa nimitetään jäähdytysaineen mukaan ilmajäähdytteiseksi eli kuivaksi muuntajaksi tai öljyjäähdytteiseksi muuntajaksi.

Kuivassa muuntajassa ovat käämitykset ja rautasydän suoraan kosketuksissa ympäröivään ilmaan. Muuntajassa syntyvä lämpö säteilee ilmaan lämmittäen sen. Lämmin ilma virtaa kevyenä ylöspäin ja synnyttää muuntajan läheisyyteen ilmavirtauksen, joka siirtää lämmön ympäristöön.

Öljyjäähdytteisessä muuntajassa on käämit ja rautasydän upotettu öljysäiliöön, joka on täytetty muuntajaöljyllä. Käämeissä ja rautasydämessä syntynyt lämpö siirtyy öljyyn, joka kuljettaa sen säiliön seinämiin, mistä lämpö edelleen siirtyy ympäröivään ilmaan.

Jäähdytyksen tehostamiseksi tehdään säiliön seinät aallotetusta teräslevystä tai käytetään putkisäiliöitä. Jäähdytystä voidaan tehostaa käyttämällä puhaltimia, jotka parantavat ilmanvirtausta säiliön pinnalla. Suurmuuntajissa käytetään erityisiä jäähdytyspattereita öljyn jäähdyttämiseksi. Öljy voidaan jäähdyttää myös veden avulla erillisessä jäähdyttimessä. Öljy painetaan pumppujen avulla jäähdyttimeen. Tällaista jäähdytystapaa käytetään, kun tilaa on vähän ja muuntajalle on vaikea saada riittävästi jäähdytysilmaa.

Muuntajan lämpötilan muuttuessa öljyn tilavuus muuttuu. Tämän vuoksi on varsinaisen öljysäiliön yläpuolelle sijoitettava paisuntasäiliö. Lämpötilan muutosten aikaansaamat öljyn pinnan korkeusvaihtelut tapahtuvat paisuntasäiliössä varsinaisen öljysäiliön ollessa aina täynnä öljyä. (Elovaara & Laiho 2007)

4 SÄHKÖTURVALLISUUSLAKI

Verkostolaskenta ja sähköturvallisuuslaki liittyvät oleellisesti toisiinsa sillä laissa veloitetaan käytön johtajaa sekä laitteiston haltijaa erilaisiin huolto toimiin. Seuraavassa otteita sähköturvallisuuslaista ja turvatekniikan keskuksen (TUKES) ohjeista:

Sähkölaitteiston käyttö ja kunnossapito

Sähkölaitteistoja on huollettava ja käytettävä niin, ettei niistä aiheudu vaaraa. Havaitut puutteet on poistettava riittävän nopeasti. Näistä huolehtiminen kuuluu sähkölaitteiston haltijan vastuulle.

Käytön johtajan tulee huolehtia siitä, että

- sähkölaitteiston käytössä ja huollossa noudatetaan sähköturvallisuusalan säädöksiä
- käyttötöitä tekevät henkilöt ovat ammattitaitoisia ja riittävästi opastettuja tehtäviinsä
- sähkölaitteiston suoja-, turva- ja vastaavien järjestelmien määrävälein tehtävää huoltoa varten on olemassa tarvittava huolto- ja kunnossapito-ohjelma
- sähkölaitteiston käyttö on turvallista ja laitteistolle tehdään huolto- ja kunnossapito-ohjelman mukaiset toimenpiteet
- sähkölaitteiston käyttöön ja hoitoon tarvittavat välineet, piirustukset, kaaviot ja ohjeet ovat käytettävissä ja ajan tasalla. Käytössä on töiden tekemisen kannalta tarpeelliset tilat

Sähkölaitteiston haltijan on

- annettava käytön johtajalle riittävät mahdollisuudet johtaa ja valvoa sähkölaitteiston käyttö-, huolto- ja kunnossapitotöitä
- huolehdittava siitä, että sähkölaitteisto on määräysten edellyttämässä kunnossa eikä aiheuta vaaraa ja että havaitut puutteet ja viat poistetaan riittävän nopeasti
- huolehdittava säädettyjen tarkastusten, ilmoitusten yms. suorittamisesta
- annettava käytön johtajalle tarvittavat tiedot sähkölaitteiston rakennus-, muutos- ja korjaustöistä sekä niihin liittyvistä tarkastuksista

TUKES voi tarvittaessa vaatia selvitystä käytön johtajan edellytyksistä hoitaa tehtäviään sekä muista edellä mainituista asioista.

Seuraavat teokset sisältävät säädöksiä ja ohjeita liittyen sähköturvallisuuslakiin:

- Sähköturvallisuuslaki (410/1996)
- KTMP sähköalan töistä (516/1996) ja sähkölaitteistojen käyttöönotosta ja käytöstä (517/1996)
- KTMP sähköturvallisuuslain soveltamisesta (657/1996)
- TUKES-ohje S 2-96, Ilmoitukset sähkölaitteiston käytön johtamisesta

5 SÄHKÖNJAKELUN LUOTETTAVUUS

Jakelun luotettavuudella tarkoitetaan kykyä siirtää sähköä tuottajalta kuluttajalle luotettavasti. Sähkönjakelun luotettavuuteen vaikuttavat sähkön tuotanto, siirto- ja jakeluverkko. Suurjännitesähkön siirron luotettavuudesta Suomessa vastaa kantaverkkoyhtiö Fingrid Oy. Sähkönjakelun luotettavuudesta ja sähkön laadusta vastaavat lähinnä verkkoyhtiöt. Tässä työssä sähkönjakelun luotettavuuden käsitteleminen rajoittuu jakeluverkkojen tarkasteluun.

Sähköverkkojen luotettavuuden merkitys on kasvanut viime aikoina, johtuen etenkin jakelun keskeytysten aiheuttamien haittojen ja kustannusten sekä niiden merkityksen kasvun myötä. Sähköverkkoyhtiöiden näkökulmasta katsottuna luotettavuuslaskelmat ja niiden käyttäminen yhtiön taloudellisen toiminnan työkaluna tulevat olemaan regulaation ja verkkoyhtiöiden toiminnan valvonnan myötä suuremmassa roolissa.

Luotettavuusanalysoinnin kohteena voi olla kokonainen järjestelmä (tuotantolaitos) tai laite (valmis tuote). Tuotantolaitosta voidaan analysoida sen tuotannon luotettavuuden (taloudellisuuden) tai turvallisuuden (onnettomuudet, ympäristövaikutukset) kannalta. (Rämä 2008.)

Luotettavuusanalysointi sähkönjakelun näkökulmasta on tärkeää tehdä, sillä sähkömarkkinalaissa on määrätty sähkönjakeluverkon haltijan tehtäväksi ylläpitää teknisesti ja taloudellisesti tarkoituksenmukaista sähkön jakelujärjestelmää, jolla kyetään vastaamaan asiakkaiden tarpeisiin.

6 KUNNOSSAPITOSTRATEGIAT

Perehtyminen kunnossapitostrategioihin on tärkeää, jotta auditointi vastaisi mahdollisimman hyvin asiakkaan kunnossapitostrategiaa. Erilaiset kunnossapitostrategiat tähtäävät käyttövarmuuteen ja laitteisto suorituskykyyn. Hyvää suorituskykyä haettaessa on tärkeää käyttövarmuus. Käyttövarmuuden maksimoimisen tavoittelu edullisilla kustannuksilla voi olla tasapainottelua. Kun tarvittavia investointeja sekä huoltoja osataan tehdä oikeaan aikaan, on mahdollista saada hyvä käyttövarmuus kustannustehokkaasti. Avainasemassa on kuitenkin aina laitteen tai järjestelmän kunto ja kunnan tilan tiedostaminen.

Hyvään suorituskykyyn tarvitaan paitsi tekninen suorituskyky myös käyttövarmuus. Tekninen suorituskyky on laitteistokohtainen, jonka pitäisi pysyä vakiona, jos järjestelmä tai laitteisto toimii oikein. Käyttövarmuus muodostuu toiminta-
varmuudesta, kunnossapidettävyydestä ja kunnossapitovarmuudesta, sekä jollain asteella käyttäjien taidoista ja virhekäyttöjen estämisestä.

Yleisimpiä suorituskykyyn ja käyttövarmuuteen vaikuttavia tai alentavia tekijöitä:

- laitteiston kapasiteetti käytölle liian pieni
- väärä laitteisto väärässä ympäristössä
- laitteiston kuluminen
- virheet suunnittelussa
- kunnossapidon laiminlyönti

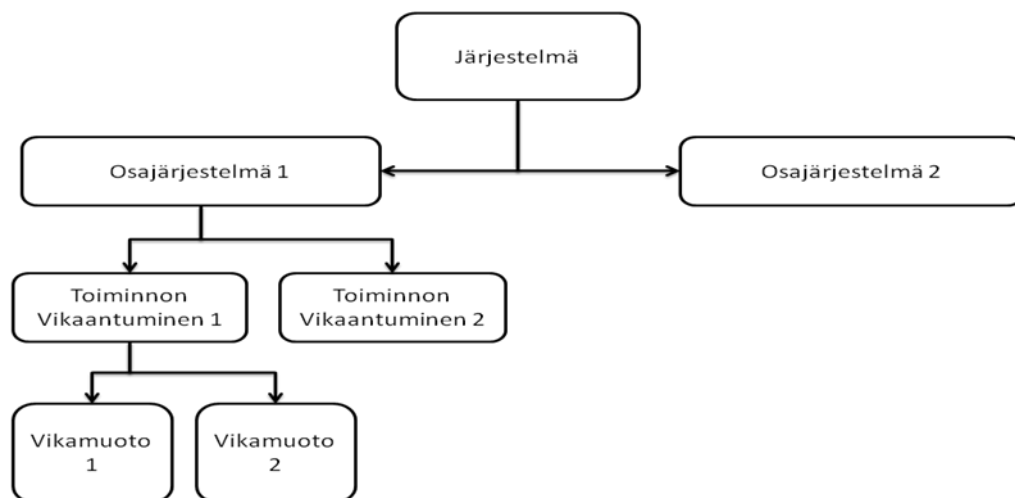
6.1 RCM luotettavuuskeskeinen kunnossapito

Reliability Centred Maintenance (RCM) eli suomeksi luotettavuuskeskeinen kunnossapito otti ensiaskeleensa Yhdysvaltojen lentokoneiteollisuudessa 1960-luvun lopulla, kun valmistajat Boeing ja Lockheed esittelivät suurelle yleisölle ensimmäiset laajarunkokoneet. Aikaisemmin käytetyt erittäin laajamittaiset huolto-ohjelmat, joissa suoritettiin ennakkoivaa huoltoa käytännössä jokaiselle lentokoneen osalle, koettiin aivan liian raskaiksi ja kustannustehottomiksi. Hyvin monimutkaisiksi käyneille lentokoneille tuli välttämättömäksi kehittää huoltopolitiikka, joka takaisi riittävän luotettavuuden ja jota olisi mahdollista toteuttaa kohtuullisin resurssein. Kunnossapidon painopiste siirtyi yksittäisten laitteiden tarkastelusta järjestelmätasolle. Ymmärrettiin, että erillisten osien kunnan tasoa tärkeämpää oli, että järjestelmät kokonaisuudessaan toimivat ja toteuttivat määritettyä tehtäväänsä.

RCM on menetelmä oikean kunnossapito-ohjelman laatimiseen ja kehittämiseen turvallisuus-, luotettavuus- ja kustannuslähtökohdista. RCM -analyysissä toimintoja, vikaantumisia ja vikojen ennalta ehkäisemistä tarkastellaan järjestelmän näkökulmasta. (Jones 1995, 281.)

RCM -analyysin kulku

Luotettavuuskeskeisen kunnossapidon ajatuksena ei ole ennalta ehkäistä vikoja, vaan estää vikojen vaikutukset. Jotta vikaantumisprosessit voitaisiin ymmärtää, on analysoitava järjestelmää järkevästi rajaamalla toiminnallisiin ja mieluiten helposti hahmotettaviin kokonaisuuksiin. Kuvassa 9 on esitetty RCM -analyysin hierarkia.



Kuva 9 RCM -analyysi hierarkia.

RCM -analyysin vaiheet:

1. Järjestelmän ja osajärjestelmien rajaaminen
2. Osajärjestelmien toimintojen ja niiden vikaantumisten määrittely
3. Vikamuotojen määrittely jokaiselle toiminnon vikaantumiselle
4. Vikojen seurausten arvioiminen
5. Laskennallinen luotettavuusanalyysi
6. Kunnossapitotehtävien ja toistovälien määrittäminen eri vikamuodoille
7. Tulosten seuranta ja toiminnan kehittäminen

(Yli-Salomäki P., "Suurjännitelaitteiden luotettavuuskeskeinen kunnossapito",
liseniaattityö 2002 Teknillinen korkeakoulu, 94 s.)

(Jones 1995, 281.)

6.2 TPM (Total Productive Maintenance)

Tuottava kunnossapito (Total Productive Maintenance), TPM, on eräs yrityksen toiminnot kattava kunnossapitostrategia. Tuottava kunnossapito -ideologia perustuu seuraavien periaateosien muodostamaan kokonaisuuteen.

- Kunnossapito käsitetään hyvin laajasti.
- Koko henkilökunta ylimmästä johdosta suoritaviin työntekijöihin sitoutuu tuottavan kunnossapidon periaatteeseen.
- Kokonaisvaltainen henkilöstön osallistuminen tarkoittaa kunnossapidon huomioon ottamista kaikissa yrityksen toiminnoissa.
- Kehittämistoiminta tapahtuu itsenäisten pienryhmien kautta, jotka kehittävät omia työtehtäviään kuuden päähäiriölähteen eliminoimiseksi.
- Jokaiselle laitteelle luodaan täydellinen, koko käyttöiän kattava ennakoivan kunnossapidon järjestelmä.

Tuottavan kunnossapidon järjestelmään kuuluu selkeä kehitysohjelma, jossa on 12 kohtaa. Koska järjestelmä perustuu voimakkaaseen koko organisaatiossa tapahtuvaan asennemuutokseen, on sen sisäänajamiseen varattava riittävästi aikaa. Siirtymä vie vähintään kolme vuotta. Kuvassa 10 on esitetty tuottavan kunnossapidon kehitysohjelman päätoimenpiteet.

Kehitysaste	Taso	Kuvaus
Valmistautuminen	1. Ylimmän johdon päätös TPM:n käyttöönotosta	Virallinen ilmoitus TPM:n käyttöönotosta; artikkelia yrityksen lehdessä
	2. Aloita koulutuksen ja TPM:n esittely	Johto: seminaarit Työntekijät: Luennot
	3. Perusta TPM:n tukiorganisaatio	Jokaiselle organisaatiotasolle perustetaan TPM:n työryhmä; perustetaan keskitetty johtoryhmä
	4. Määrittele toimintasuunnitelma ja tavoitteet	Nykytilanneanalyysi; tavoitteiden asetanta
	5. Laadi kirjallinen "Master-suunnitelma" TPM:n käynnistämisestä	Laaditaan yksityiskohtainen käynnistämisen suunnitelma
Toteutuksen valmistelu	6. Käynnistä TPM	Projekti esitellään sidosryhmille: asiakkaat, alihankkijat, tytäryritykset
Toteutus	7. Paranna yksittäisten laitteiden tehokkuutta	Valitaan pilottilaitteita; muodostetaan projektiryhmiä
	8. Luo kunnossapito-ohjelma käyttöhenkilöstölle	Käytetään seitsemän askeleen menetelmää; koulutetaan käyttöhenkilöstöä
	9. Luo aikataulutettu huolto-ohjelma kunnossapito-osastolle	Otetaan huomioon määräaikainen- ja ennakkoivakunnossapito, k.pidon ohjaus, varaosat, työkalut, piirustukset ja työohjeet
	10. Jatka käyttö- ja kunnossapito-taitojen kehittämistä	Vaihdetaan kokemuksia eri alueiden koulutusvastaavien kesken
	11. Ota kunnossapito huomioon hankintavaiheessa, luo hankintaohje	Kunnossapitotarpeen ennakointi; luo vastaanottotarkastukset; LCC analyysit
Vakiinnuttaminen	12. Täydellinen TPM:n käyttöönotto ja tason korottaminen	Asetetaan korkeammat tavoitteet (PM palkinto)

Kuva 10 Tuottavan kunnossapidon kehitysohjelma.

Tuottavassa kunnossapidossa pyritään suurimpaan kokonaistehokkuuteen eliminoimalla tuotannon häiriötekijät. Tuotannon häiriötekijät pelkistetään kuuteen häiriölähteeseen ja ryhmitellään kolmeen ryhmään seuraavasti:

Seisokkihäviöt:

- laitteiden seisokit – vikaantumisesta aiheutuvat
- säädöt ja asetukset – työkalujen tai tuotteen vaihtuminen tms.

Nopeushäviöt:

- vajaakäynti ja pikku pysähdykset – antureiden toimintavirheet, häiriöt laitteiden syötöissä tai poistoissa, ruuhkautumat työnkuluilla tms.

- alentunut tuotantonopeus – laitteen suunnitellun ja toteutuneen tuotantonopeuden erosta johtuva.

Laatuhäviöt:

- prosessipuutteet – hylyistä ja korjattavista laatuvirheistä aiheutuvat
- prosessin käynnistäminen – laitteiden käynnistämisestä vakiintuneeseen tuotantoon aiheutuvat laatuhäviöt. (Opetushallitus)

6.3 LCC (Life Cycle Costs)

Elinkaarikustannuksilla (Life Cycle Costs, LCC) tarkoitetaan kaikkia niitä yhteenlaskettuja kustannuksia, joita kohteelle syntyy tai voidaan olettaa syntyvän sille määritetyn elinkaaren aikana. Elinkaarella tarkoitetaan ajanjaksoa alkaen laitteen tai järjestelmän määrittelystä aina lopulliseen käytöstä poistoon ja romutukseen tai jatkosijoitukseen. Eriluonteisia kustannuksia kohteelle voi syntyä sen elinkaaren aikana mm. suunnittelusta, valmistuksesta, käytöstä, koulutuksesta, kunnossapidosta ja lopullisesta poistosta. Tavallisesti kohteelle muodostuvista kustannuksista valtaosa syntyy käytöstä ja epäkäytettävyydestä. Varsinkin jatkuvammassa prosessiteollisuudessa kohteen seisonta-ajasta aiheutuvat epäkäytettävyyuskustannukset voivat nousta merkittäväksi tekijäksi elinkaaren kokonaiskustannuksissa. Näiden seisonnasta aiheutuvien kustannusten voidaan katsoa olevan suoraan pois yrityksen tuotoista.

Erilaisia suunnitteluratkaisuja vertailtaessa analyysin tarkoituksena on ohjata kokonaisuuden hankintaan, jolla saavutetaan kaikkein matalimmat kokonaiskustannukset tarkasteltavan kohteen elinkaaren aikana. Elinkaarikustannusten analysoinnista saatavien tulosten avulla voidaan osoittaa perustellen mahdollisuuksia, joita erilaisten laite- ja prosessiratkaisuiden hankinnalla voidaan saavuttaa. Analyysi ohjaa hankintasuunnitelmia laitteen oletetun elinkaaren kokonaiskustannusten pohjalta, eikä pelkästään laitteen investointikustannusten pohjalta. Hankaluutta analyysiin aiheuttaa analyysin edellyttämä tulevaisuuden arviointi sekä missä kustannukset ja muut tekijät muuttuvat. Arviot olisi tarpeen tehdä parhaan kyvyn mukaan jättäen oletuksille liikkumavaraa, jottei analyysi pohjautuisi ainoastaan investointikustannusten tarkasteluun. Useilla laitteilla investointikustannukset muodostavat hyvin pienen kustannuserän laitteen elinkaaren aikaisissa kokonaiskustannuksissa. Tarkastelu muuttaa tekniikan ymmärtämistä vaativat esitiedot muotoon, jonka hankinnasta ja taloudesta vastaavat henkilöt voivat selkeästi ymmärtää.

Erilaisten suunnitteluratkaisujen elinkaarikustannuksia vertailtaessa tulee huomioida, että valtaosa tulevista kustannuksista määräytyy elinjakson alussa tehdyillä suunnitteluratkaisuilla. Tarkasteltavan kohteen varsinaisista elinkaarenkustannuksista suurin osa syntyy käyttöönoton jälkeisenä aikana. Käytännössä

tämä tarkoittaa, että hyvällä suunnittelulla ja mahdollisimman aikaisessa vaiheessa tehdyllä elinkaarikustannusten tarkastelulla voidaan vähentää merkittävästi käytönaikaisia kustannuksia. Liiketoimintaympäristöstä riippuen elinkaarikustannuksia voidaan tarkastella erilaisista näkökulmista. Esimerkiksi pitkän elinkaaren omaavilla laitteilla elinkaarikustannukset ovat yksi tärkeä tarkastelun kohde hankintavaiheessa, kun taas lyhyen taloudellisen elinjakson omaavat laitteet voidaan arvioida niiden takaisinmaksuajan mukaan. Hedelmällisintä LCC-analyysi olisi toteuttaa pitkän elinjakson omaaville kohteille, joiden käytönaikaisten kustannusten voidaan olettaa ylittävän moninkertaisesti alkuvaiheen investointikustannukset.

Toimialasta riippuen laitteelle voi syntyä kustannuksia hyvin erilaisista ja erisuuruisista kustannuselementeistä sen elinkaaren aikana. Toisaalla voi seisonnasta aiheutuvat kustannukset olla verrattain suuria, kun taas toisaalla valtavasti energiaa kuluttavalle laitteelle syntyy suuret vuotuiset energiakustannukset. Alla on listattu tavanomaisimmat kustannuselementit, joista elinkaarikustannuksia laitteelle kertyy:

- investointikustannukset, hankintahinta
- asennus- ja tilauskustannukset (sisältäen koulutuksen)
- energiakustannukset (järjestelmän käytön ennustetut kustannukset)
- käyttökustannukset (käyttöhenkilöstön kustannukset)
- kunnossapito- ja korjauskustannukset (toistuvat ja ennakoivat korjaukset)
- seisona-ajan kustannukset (menetetty tuotanto)
- ympäristökustannukset
- poiston/hävityksen kustannukset (Ramentor Oy)

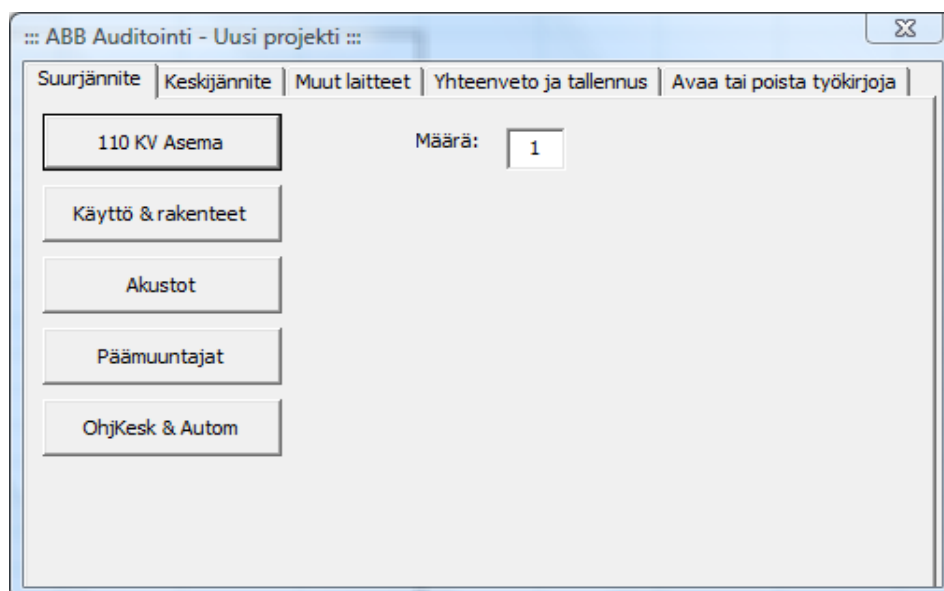
7 KARTOITUSTYÖKALU

Ohjelma pitää sisällään kaksi kansiota: tallennetut ja uusi projekti. Kummastakin kansiosta on mahdollisuus käynnistää mikä tahansa projekti, sillä niistä aukeaa aina käyttöliittymä, jolla voidaan muokata projekteja. Tallennetut ja uuden projektin aloitus pidettiin kuitenkin erillään, jotta aikaisempien ja uusien projektien välillä ei tulisi sekaannuksia päälle tallentamisessa eikä tietoja häviäisi. Näin ajatus kestää paremmin siinä työssä, jota ollaan tekemässä.

Käyttöliittymä on esitetty kuvassa 11.

Käyttöliittymässä on viisi välilehteä

- Suurjännite
- Keskijännite
- Muut laitteet
- Yhteenveto ja tallennus
- Avaa ja poista työkirjoja



Kuva 11 Käyttöliittymä

Käyttöliittymän kolme ensimmäistä välilehteä ovat suurjännite, keskijännite ja muut, jotka pitävät sisällään työkirjoja, joihin auditointi tehdään. Työkirjoja voidaan lisätä yksitellen klikkaamalla hiirellä haluttua työkirjan painiketta. Jos halu-

taan useampi samaa työkirjaa, vaihdetaan haluttu määrä tekstinsyöttökenttään ja klikataan haluttua työkirjaa, jolloin ohjelma lisää työkirjat Exeliin.

Välilehtien työkirjat:

Suurjännite

- 110 kV Asema
- Käyttö & rakenteet
- Akustot
- Päämuuntajat

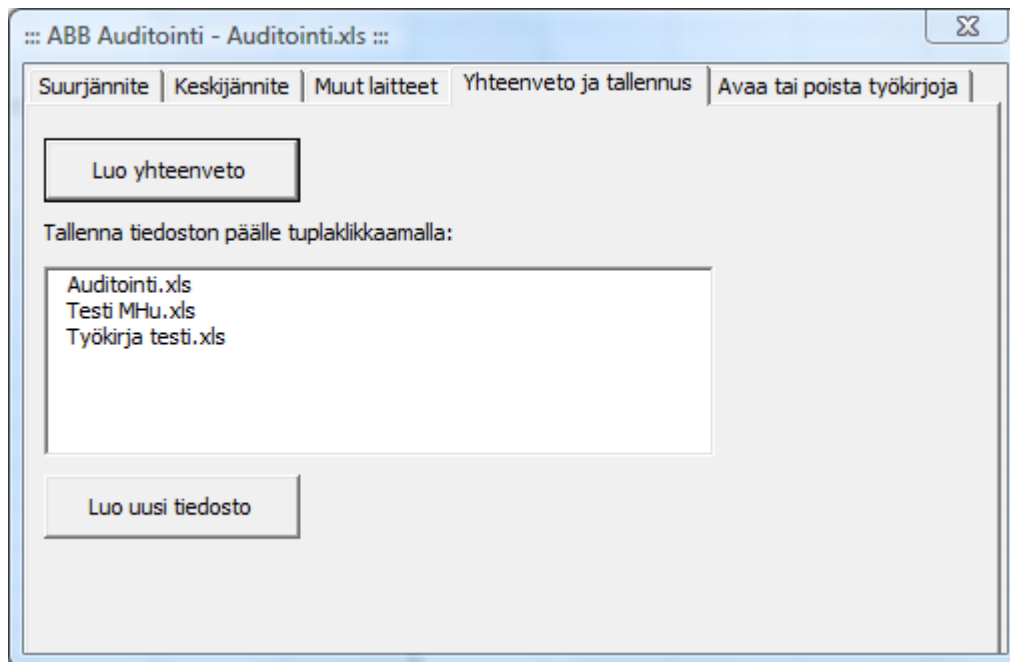
Keskijännite

- Asemien KJ laitteet
- Käyttö ja rakenteet
- Jakelumuunt. Öljy
- Jakelumuunt. Kuiva
- Akustot
- Kompensointi

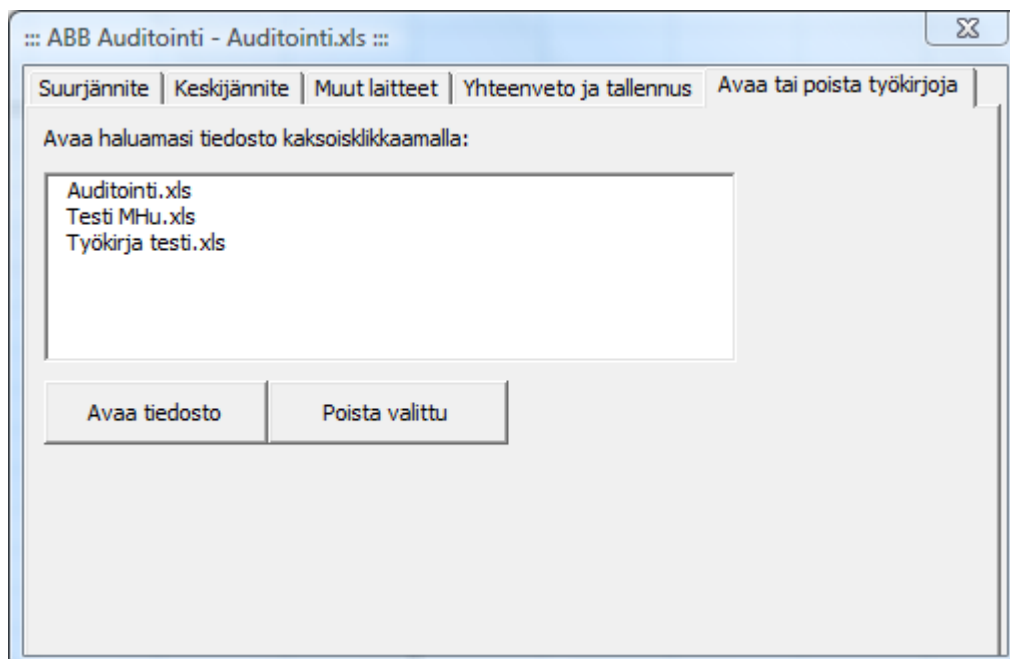
Muut laitteet

- Pienjännitekeskus
- Kompensointi
- UPS

Välilehdillä: Yhteenveto ja tallennus sekä Avaa ja poista -työkirjoja hallitaan projekteja. Yhteenveto ja tallennus –välilehdellä, joka on esitetty kuvassa 12, luodaan uudesta projektista tiedosto tai meneillään olevasta vanhasta projektista uusi tiedosto. Työstettävänä oleva avoin projekti näkyy käyttöliittymän otsikossa tai Excel -työkirjan nimessä. Myös yhteenveto luodaan tältä sivulta. Avaa ja poista työkirjoja –välilehdellä, joka on esitetty kuvassa 13, voidaan avata tallennettu projekti työstettäväksi tai poistaa jonkin projektin vanhoja tallennuksia ja turhia työkirjoja. Tällä välilehdellä hallitaan tallennetut kansion työkirjoja.



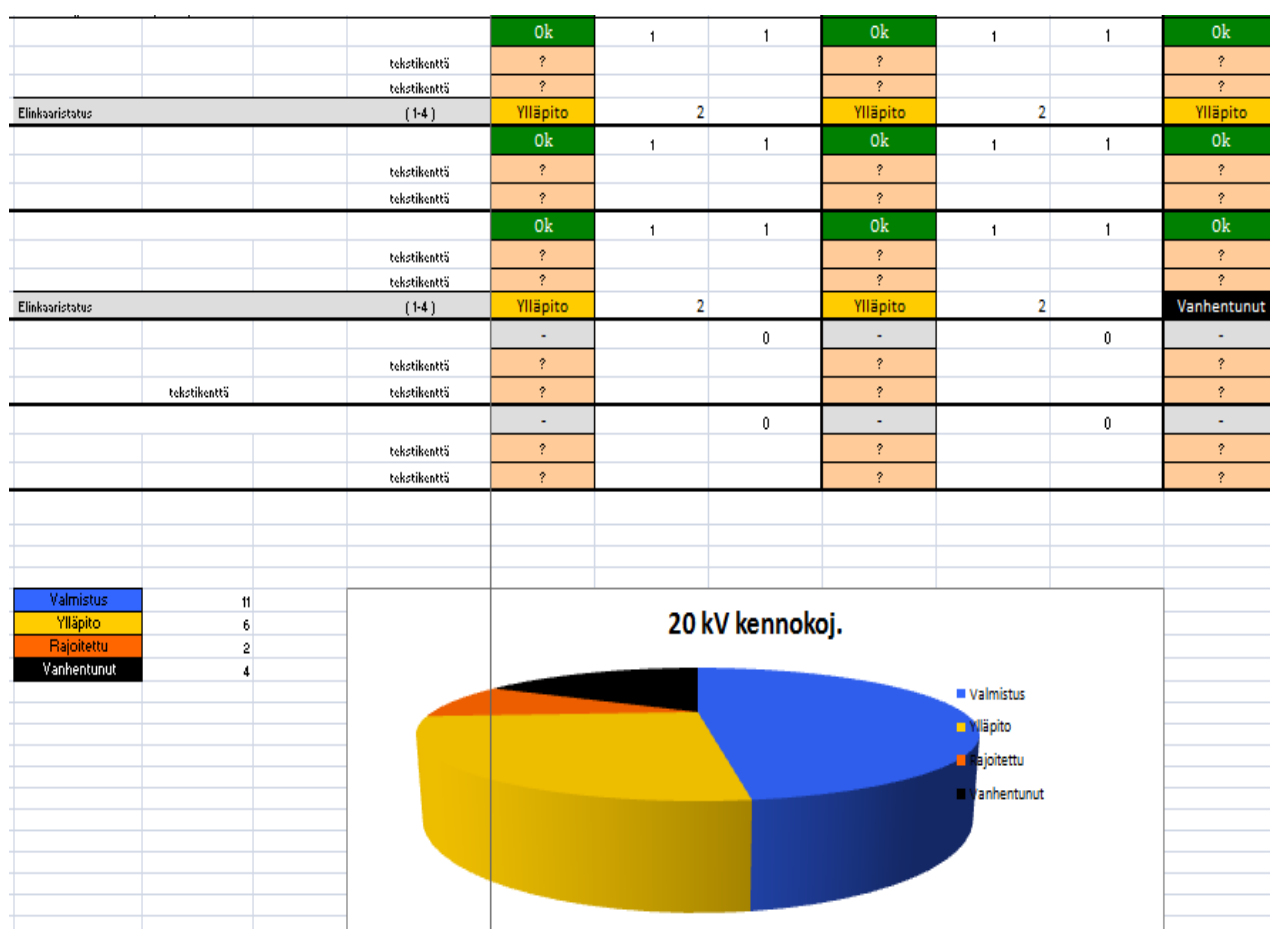
Kuva 12 Yhteenveto ja tallennus välilehti.



Kuva 13 Avaa tai poista työkirjoja välilehti.

7.1 Elinkaaristatus

Elinkaaristatus täytetään työkirjoihin erillisiin kohtiin numeroilla 1,2,3 ja 4, jotka vastaavat arvoja: Valmistus, Ylläpito, Rajoitettu ja Vanhentunut. Työkirjoissa, joissa elinkaaristatusta kysytään, on alareunassa kenttä, joka on esitetty kuvassa 14, josta näkee elinkaaristatusten määrän työkirjassa. ABB halusi myös piirakka -kaavion, josta näkee helposti laitteiden elinkaaritatuksukset ja elinkaarten suhteet toisiinsa. Elinkaaristatus -piirakka on myös yhteenvedossa jokaisen työkirjan tiedoissa.



Kuva 14 Elinkaaristatus -yhteenvedo työkirjassa.

7.2 Olosuhdeindeksi

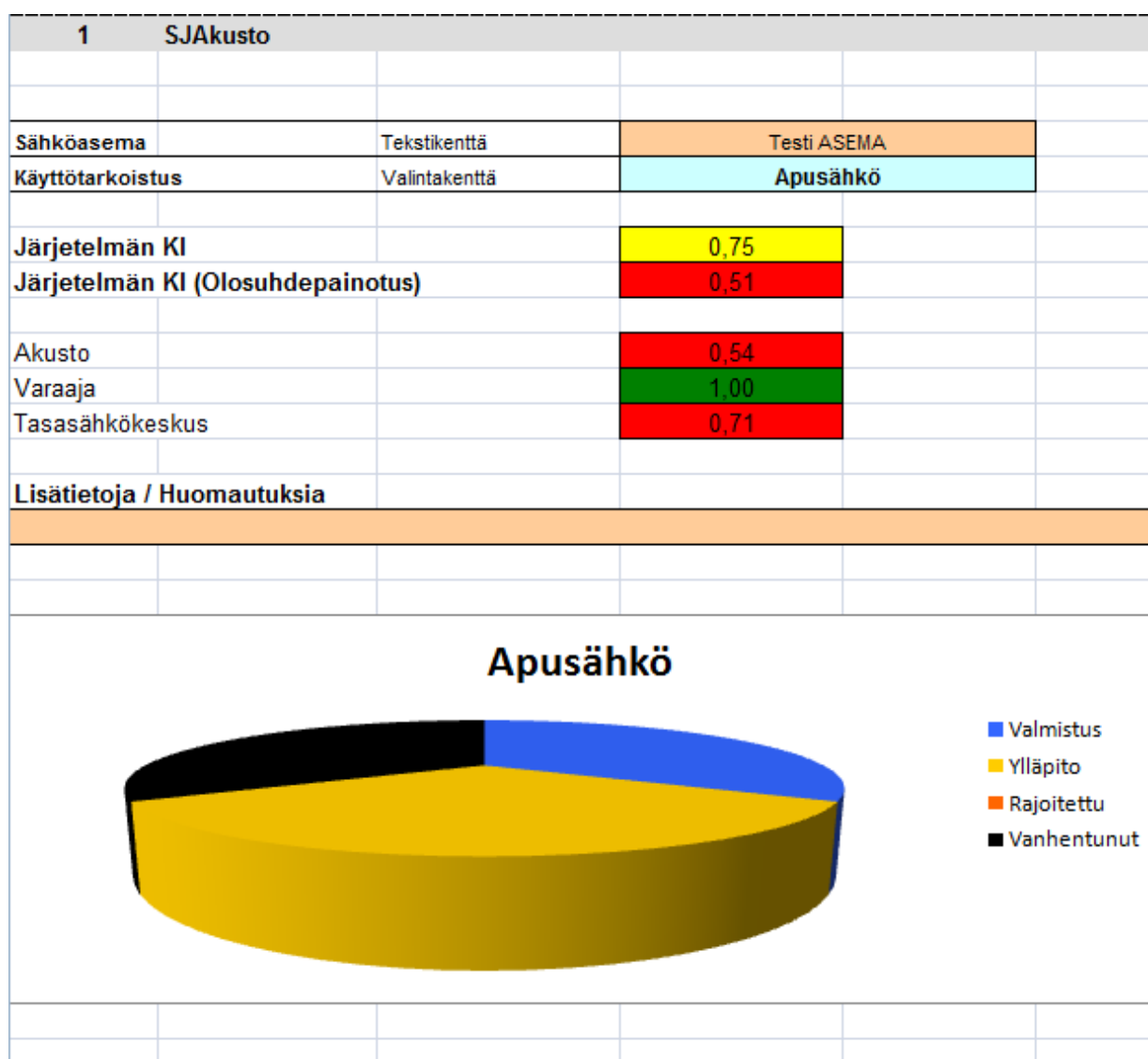
Olosuhdeindeksillä on tarkoitus saada keskiarvot vertailukelpoisiksi riippumatta laitteiston paikasta. Heikentäviä tekijöitä on mahdollisuus valita yksi tai monia. Heikentäviksi tekijöiksi on otettu ilmanlaatu ja likaantuminen, joihin voi valita yhdestä kuuteen eri altistajaa sekä sijainti, lämpötila, koteus ja tärinä. Jokaista altistajaa on mahdollista painottaa verrattuna muihin, lisäksi olosuhdeindeksille on vielä korjauskerroin. Vaihtoehtoilla saadaan katettua hyvin useiden eri ympäristöjen haittavaikutukset eri laitteisiin. Tämä vaatii suurta ammattitaitoa ja lisäksi ongelmana voi olla auditoijien näkemys ja tulkintaerot. Kokonaiskeskiarvo ilmoitetaan aina ilman olosuhdeindeksin painotusta ja sen kanssa. Olosuhdeindeksi kenttä löytyy jokaisen työkirjan yläosasta ja se on myös mahdollista piilottaa. Olosuhdeindeksi on esitetty kuvassa 15.

1													
2	Sähköasema	Tekstikenttä	?				Järjelmän KI					#DIV/0!	
3	Käyttötarkoistus	Valintakenttä	Apusähkö				Järjelmän KI (Olosuhdepainotus)					#DIV/0!	
4													
5													
6													
7	Olosuhdeindeksi		1,00		Korjaa %	0		Täytä Tekstikentät (1-5)					
8								1 = Ei vaikutusta					
9			Altisteen KI	Painotus				5 = Suuri vaikutus					
10	Sijainti	Ulko	1	1									
11					Altiste	Maara							
12	Ilman laatu:	No value	1,00	1	Hilii	1	Puupöly	1	Paperipöly	1	Metallipöly		
13													
14	Likaantuminen	No value	1,00	1	Hilii	1	Puupöly	1	Paperipöly	1	Metallipöly		
15													
16	Lämpötila:	No value	1,00	1	10-20 C	1	24h arvioitu keskiarvo						
17													
18	Kosteus:	No value	1,00	1	35-45%	1	24h arvioitu keskiarvo lämpötilan mukaan						
19													
20	Tärinä:	No value	1,00	1	Ei vaikutusta	1	Arvioitu vaikutus laitteistoon						
21													
22													

Kuva 15 Olosuhdeindeksi kenttä.

7.3 Yhteenveto

Yhteenvedossa on luettelomaisesti jokaisesta tehdystä työkirjasta tiivistelmä joka on esitetty kuvassa 16. Tiivistelmästä selviää kohteen tärkeimmät tiedot, kuten nimi tai tunnuksat. Lisäksi kohteen keskiarvo ja olosuhteella painotettu keskiarvo, osakeskiarvot, elinkaaristatus ja lisätiedot/huomautukset, jossa voi olla huomioituja seikkoja ja tarkennuksia vikoihin.



Kuva 16 Yhden työkirjan alue yhteenvedossa.

8 KARTOITUSTYÖKALUN KEHITTÄMINEN

Ohjelmaa voidaan kehittää uusia auditointikohteita lisäämällä työkirjoja sekä nykyisiä työkirjoja muokkaamalla entistä kattavammiksi. Uusi auditointikohde voisi olla esimerkiksi hissit ja nostolaitteet, oma työkirja voisi olla myös erilaisille pelastuslaitteille, kuten hälyttimille, turvavaloille ja hätätietoväylien testaukselle. Lisäksi tarkennuksen, jatkokehitystyksen ja uusien lisäysten kohteina voisivat olla räjähdysvaaralliset tilat ja sähköverkon automaatio ja suojaus. Jatkotutkimusten kohteeksi kannattaisi myös ottaa rautatieliikenne (metro, raitiovaunu ja junat).

Hissin tarkastukset (määräykset)

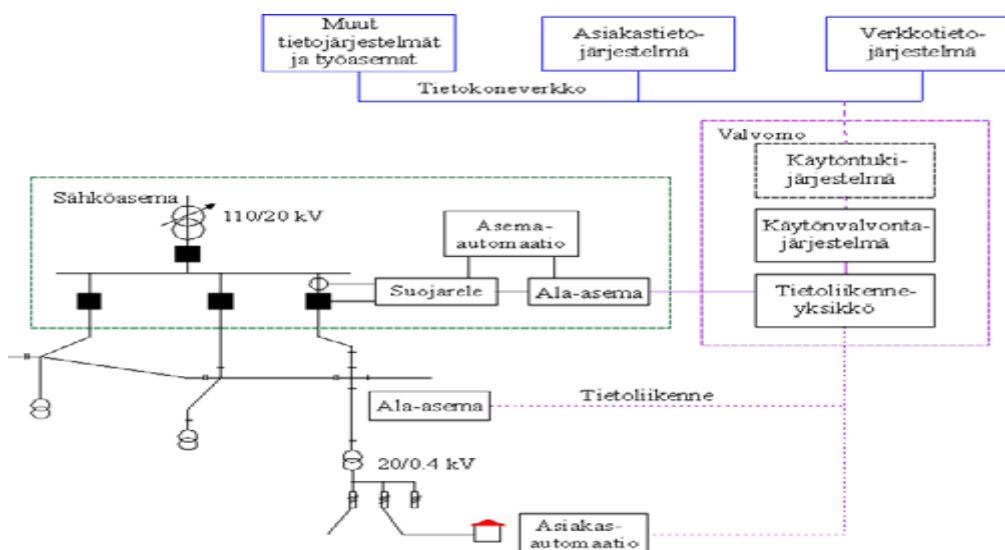
Auditointia on mahdollisuus laajentaa esimerkiksi hisseihin ja nostolaitteisiin, joita on paljon teollisuuslaitoksissa. Lainsäädännössä näille laitteille määrätään määräaikaistarkastukset, joita hoitavat pääosin Suomessa muutama suuri yhtiö. Auditoinnin voisi tehdä samanlaista pohjaa ja laskentatapaa käyttäen kuin tämän opinnäytetyön pohjatkin on tehty. Näin pystyttäisiin tarjoamaan kokonaisvaltaisempaa kunnonkartoitusta esimerkiksi teollisuuslaitoksille tai pienemmille konepajoille.

Hissien määräaikaistarkastukset

Käytössä olevat hissit ja eräät nosto- ja siirtolaitteet tarkastetaan kauppa- ja teollisuusministeriön asetuksessa (663/1996) määrätyin välein. Määräaikaistarkastusten tilaamisesta huolehtii laitteen haltija. Jos haltija antaa tilaamisen huoltoliikkeen tehtäväksi, olisi haltijan hyvä nimetä miltä laitokselta tai tarkastajalta tarkastus tilataan. Tarkastuksessa otetaan kantaa paitsi hissin turvallisuuteen myös siihen, onko hissin huolto-ohjelmaa noudatettu. (Sähköalan säännökset 2005, 504.)

Sähköverkon automaatio ja suojaus

Automaation käyttö on lisääntynyt voimakkaasti myös sähkö- ja voimayhtiöissä. Niiden henkilökuntien avuksi on kehitetty useita automaatiojärjestelmiä. Yksi merkittävimmistä sähköverkon automaation askeleista oli Suomessa 1970-luvulla tapahtunut kaukokäyttöjärjestelmien yleistyminen. Viime vuosina tapahtuneen voimakkaan mikroprosessori- ja tietojenkäsittelytekniikan kehityksen myötä myös kaukokäyttöjärjestelmät ovat kehittyneet. Kaukokäytöstä on muodostunut laajempi kokonaisuus, jota kutsutaan käytönvalvontajärjestelmäksi (KVJ). Käytönvalvontajärjestelmä muodostaa valvomon automaatiotoimintojen perustan. KVJ:n lisäksi niihin voi kuulua käytöntukijärjestelmä (KTJ). Sähköyhtiöissä käytetään myös erilaisia tietojärjestelmiä. Niistä tärkeimmät ovat suunnittelijoiden käyttämä verkkotietojärjestelmä (VTJ) ja asiakaslaskutuksessa käytettävä asiakastietojärjestelmä (ATJ). Niitä on esitelty edellisessä luvussa. Energianhallintajärjestelmää (EHJ) käytetään sähkönhankinnan optimoinnissa ja energiankäytön seurannassa. Viime aikoina eri järjestelmiä on pyritty integroimaan päällekkäisten toimintojen välttämiseksi. Muita sähköverkon automaation osa-alueita ovat sähköasema-, verkosto- ja asiakasautomaatio. Erilaisten automaatiotoimintojen avulla on saatu parannettua sähkönjakelun turvallisuutta, taloudellisuutta ja käytettävyyttä. Sähkönjakeluverkkoon liittyvää automaatiota ja tietotekniikkaa on esitetty kuvassa 17. (Aura & Tonteri 1993.)



Kuva 17 Sähköverkkoon automaatiotekniikkaa kaavio (Aura & Tonteri 1993.)

9 ABB YRITYKSENÄ

ABB kuuluu maailman johtaviin sähkövoima- ja automatioteknologiaa tarjoaviin yrityksiin, tuotteiden, järjestelmien ja palveluiden muodossa. Toiminta on jaettu konsernin sisällä viiteen alueeseen: sähkövoimatuotteet, sähkövoimajärjestelmät, sähkökäytöt ja kappeletavara-automaatio, pienjännitetuotteet ja prosessi-automaatio.

Toimintaa on globaalisti noin sadassa maassa ja Suomessa yli 40 paikkakunnalla. Työntekijöitä on yhteensä noin 117 000, joista Suomessa 6 000. Liikevaihto vuonna 2008 oli 34 miljardia USD ja Suomessa 1,7 miljardia euroa. Pääkonttori sijaitsee Zurichissä, Sveitsissä. Pääjohtajana toimii Joseph M. Hogan.

Yrityksenä ABB tähtää kestäväan kehitykseen ja teknologiaan. Se onkin teknologiajohtaja sähkövoima- ja automatioteknologiassa. Tutkijoita on palkkalistoilla 6 000 ympäri maailmaa ja tutkimustyötä tehdään 70 yliopiston kanssa. Tavoitteiksi listataan kehitystuotteissa, järjestelmissä ja palveluissa määrämpäänä parantaa asiakkaiden kilpailukykyä ympäristömyönteisesti.

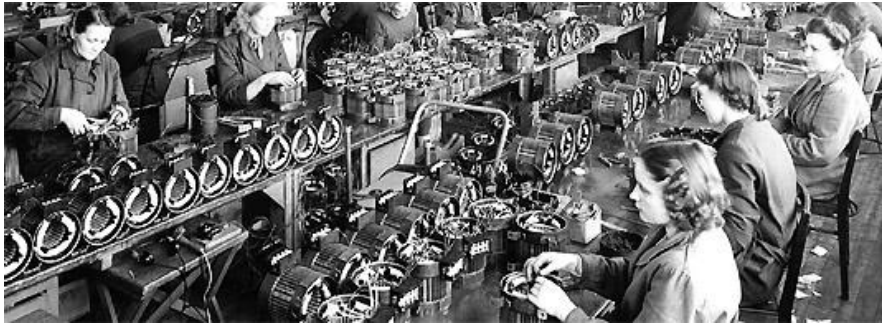
Kestävä kehitys merkitsee yhtiölle ympäristökysymysten huolenpidon, sosiaalisen edistyksen ja taloudellisen menestyksen hyvinvoivaa kokonaisuutta. Näiden seikkojen huomioon ottaminen tarkoittaa ABB:llä tuotteiden suunnittelua ja tuotantoa, toimintaa tavarantoimittajien kanssa, varautumista riskeihin ja mahdollisuuksiin, toimintaa yhtiön sisäisissä sekä ulkopuolisissa yhteisöissä.

ABB muodostettiin tammikuussa 1988 sulauttamalla yhteen ruotsalaisen Asean ja sveitsiläisen Brown Boverin sähkötekniset liiketoiminnot 50:50-omistusperiaatteella. ABB:n kasvu perustuu sen teknologiseen voimaan ja vahvoihin paikallisiin juuriin, joita Suomessa edustaa Strömberg.

Gottfrid Strömberg astui vuonna 1889 Helsingin maistraattiin ja teki elinkeinotoiminnan vastaperustamastaan sähköliikkeestä. Uuden yhtiön tunnuslause oli "Hyvä työ ja parhaat raaka-aineet". Gottfrid Strömbergin kehittämät sähkökoneet nostivat alkujaan neljän miehen konepajan Suomen merkittävimpien teolli-

suusyritysten joukkoon ja sähköteknisen teollisuuden tiennäyttäjäksi. Strömbergin historia jatkuu ABB:ssä lukuisissa eri yksiköissä, jotka tarjoavat sähkökoneita, sähkökäyttöjä, sähköasema-automaatiota, pienjännitetuotteita, pienjännitejärjestelmiä, suur- ja jakelumuuntajia sekä keskijännitetuotteita.

(ABB Oy)



Kuva 18 Sähkömoottoreiden valmistusta vanhoin menetelmin.

10 YHTEENVETO

Sähkönjakelun kartoitustyökalun tekeminen tuotti yhteensä kaksi opinnäytetyötä, sähkötekniikan ja tietotekniikan. Suurin osa-alue opinnäytetyössä oli ohjelman tekeminen ja kehittäminen. Kun opinnäytetyönä on ohjelma, joka toimii työkaluna eikä tutkimuskohde, niin käytetystä ajasta kului noin 80-90 % ohjelman tekemiseen ja kehittämiseen. Loput ajasta kului opinnäytetyön kirjalliseen osioon.

Työtä rajattiin kartoitustyökaluun, vaikka sitä olisi voitu helposti laajentaa tutkimustyön puolelle enemmän ja kehittää sitä kunnossapitostrategioita silmällä pitäen. Lisäksi luonnollinen jatke tämän tyyppiselle ohjelmalle on huoltosuunnitelma ja sille jonkinlainen oma alusta, joka olisi yhdenmukainen tämän kartoitustyökalun kanssa.

Haasteena oli sovittaa ABB:n toiveet ja tekniset mahdollisuudet samaan pakettiin, sekä ohjata ohjelman kehittymistä oikeaan suuntaan. Työn toteutuksessa tuli yllätyksenä myös ohjelmistojen testaus, joka vaati yllättävän suuren ajan ja paljon testaamista. Jotta kaikki toiminnot saatiin toimimaan ja halutun mukaisiksi, jouduttiin tekemään useita versioita ohjelmasta, joista jotkin eivät toimineet kuormitettuina tai olivat hitaita. Tällaisia ohjelmiston asettamia rajoituksia, joita huomattiin työn edetessä, ei osattu ottaa huomioon. Toisaalta niin kuin aikaisemmin on todettu, kehittämistyötä voi tehdä lähes loputtomasti. Tässä tapauksessa sitä varmasti edelleen jatketaan, kun käyttäjiltä tulee käyttökokemuksia.

Opinnäytetyö aloitettiin alkuvuodesta 2009 ja saatiin valmiiksi keväällä 2010. Työn tekemiseen kului pitkä aika ja runsaasti työtunteja. Opittuina asioina voidaan pitää tämän tyyppisen projektin hahmottamista ja sähkönjakelun komponenttien sekä kunnossapidon kokonaiskuvan paranemista. Opinnäytetyötä oli mielenkiintoinen tehdä, koska se tehtiin ABB:lle kunnossapidon käyttöön. Uskon siitä olevan hyötyä myös itselleni sähköalalla. Lopputuloksena auditointi ABB:llä yhdenmukaistui samanlaisten työkirjojen ansiosta ja työkirjat saatiin yhteen kokonaisuuteen.

KUVAT

Kuva 1 Keskiarvon laskenta, s. 8

Kuva 2 Olokdeindeksin vaikutus keskiarvoon, s.8

Kuva 3 Kantaverkko Suomessa. Lähde: Fingrid 2005 s.10

Kuva 4 Kauko-ohjattava erotinasema, s.21

Kuva 5 110kV ulkokytinlaitos, s.24

Kuva 6 Maakaapeliverkon muuntamo (puistomuuntamo) s.26

Kuva 7 Kuvassa vasemmalla yksivaiheinen sydän muuntaja ja oikealla yksivaiheinen vaippamuuntaja, s.41

Kuva 8 Vasemmalla kolmivaiheinen sydänmuuntaja ja oikealla kolmivaiheinen vaippamuuntaja, s.42

Kuva 9 RCM -analyysi hierarkia, s.50

Kuva 10 Tuottavan kunnossapidon kehitysohjelma, s.52

Kuva 11 Käyttöliittymä, s.56

Kuva 12 Yhteenvedo ja tallennus välilehti, s.58

Kuva 13 Avaa tai poista työkirjoja välilehti, s.58

Kuva 14 Elinkaaristatus -yhteenvedo työkirjassa, s.59

Kuva 15 Olosuhdeindeksi kenttä, s.60

Kuva 16 Yhden työkirjan alue yhteenvedossa, 61

Kuva 17 Sähköverkkoon automaatiotekniikkaa kaavio, s.63

Kuva 18 Sähkömoottoreiden valmistusta vanhoihin menetelmin, s.65

LÄHTEET

Akkuesite. 2003. Exide Oy.

Akuston mitoitus. 2004. Finngrid Oyj.

Aura, L. & Tonteri, A. 1995. Teoreettinen sähkötekniikka ja sähkökoneiden perusteet. Porvoo: WSOY, 446.

Aura, L. & Tonteri, A. 1993. Sähkölaitostekniikka. Porvoo: WSOY, 433.

Elovaara, J. & Laiho, Y. 2007. Sähkölaitostekniikan perusteet 499. 6.painos. Helsinki: Hakapaino Oy.

Hiltunen, V. & Laitinen, M. Loistehon kompensointi. Sähköasennukset 2. Sähköurakoitsijaliiton koulutus ja kustannus Oy.

Jaatinen, J. 1991. Pienjänniteverkon kompensointi. Espoo: Sähköurakoitsijaliiton koulutus ja kustannus Oy, 142.

Jones, R.B. 1995. Risk-Based Management. A Realibility-Centered Approach. Gulf Publishing Company.

Jukka Rämä, J. 2008. Sähköaseminvestointihankkeen määrittely. Lappeenranta tekninen yliopisto. Sähkötekniikan diplomi-insinöörin koulutusohjelma. Diplomityö.

Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös sähköalan töistä (516/1996)

Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös sähkölaitteistojen käyttöönotosta ja käytöstä (517/1996)

Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös sähköturvallisuuslain soveltamisesta (657/1996)

Lehtonen, M., Kärkkäinen, S. & Partanen, J. 1995. Kokonaisvaltainen sähkölaitosautomaatiokonsepti Suomessa. Tiedote VTT.

ST-kortisto. ST 52.30. 2003 Sähkötieto Ry

Sähkötekniikan käsikirja, osa 1. 1975. Helsinki: Tammi.

Sähköturvallisuuslaki. Suomen säädöskokoelma (410/1996). 2006. Rakennustieto Oy.

Sähköasemat III Suojaus, mittaus ja ohjausjärjestelmät. 1984. Insinöörien koulutuskeskus ry.

TTT-käsikirja 2000. ABB Group. TTT-käsikirja. Heinäkuu 2000.

Turvatekniikan keskus. 2004. Ilmoitukset sähkölaitteiston käytön johtamisesta. TUKES-ohje. 2-96.

Turvatekniikan keskus. 2005. Sähköalan säännökset. TUKES-ohje. 504.

Yli-Salomäki P. 2002. Suurjännitelaitteiden luotettavuuskeskeinen kunnossapito. Helsingin Teknillinen korkeakoulu. Licensiaattityö.

ABB Oy.
<http://www.abb.com> (Luettu 13.3.2010)

Energiateollisuus ry.
<http://www.energia.fi/fi/sahko/sahkoverkko/rakenne> (Luettu 18.4.2010)

Opetushallitus
<http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/perusteet.html> (Luettu 10.11.2009)

Ramentor Oy.
<http://www.ramentor.com/etusivu/teoria/elinkaarikustannukset/> (Luettu 10.5.2010)

Sähköala.fi
http://www.sahkoala.fi/kohderyhmat/ammattilaiset/yrityslinkit/fi_FI/keskukset/ (Luettu 10.5.2010)

Valtion teknillinen tutkimuskeskus 2006.
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2006/W52.pdf> (Luettu 11.5.2010)